



Universitat Autònoma de Barcelona

FACULTAT DE CIÈNCIES
Secció de Ciències Ambientals

TRACTAMENT D'AIGÜES DE PISCINA: ALTERNATIVES ALS MÈTODES CONVENCIONALS



Memòria del Projecte Fi de Carrera de Ciències Ambientals
realitzada per:
Sònia Pons i Menier
i dirigida per:
Jordi Bartrolí i Molins

Bellaterra, a 18 de setembre de
2006

ÍNDIX

Índex de gràfiques.....	6
Índex de taules.....	7
Índex d'il·lustracions.....	8
Acrònims.....	10
1. INTRODUCCIÓ	13
1.1 Antecedents. Desinfecció d'aigües.....	15
1.2 Objectius	18
1.3 Metodologia.....	20
2. TÈCNiques DE DESINFECCIÓ	25
2.1 Desinfecció amb clor: la cloració	25
2.1.1 Introducció.....	25
2.1.2 Procés de desinfecció del clor.....	26
2.1.3 Control de pH en el vas de piscina.....	28
2.1.4 Funcionament de la instal·lació	32
2.1.5 Subproductes de la cloració	33
2.2 Desinfecció amb ozó: l'ozonització.....	38
2.2.1 Introducció.....	38
2.2.2 Característiques de l'ozó	38
2.2.3 Producció d'ozó.....	39
2.2.4 Procés de desinfecció de l'ozó	40
2.2.5 Funcionament de la instal·lació	40
2.2.6 Subproductes de l'ozonització.....	43
2.3 Avantatges i inconvenients de l'ozó respecte el clor	44
2.3.1 Avantatges	44
2.3.2 Inconvenients	47
3. PROBLEMÀTICA ASSOCIADA A LES TÈCNiques DE DESINFECCIÓ	51
3.1 Problemes de salut.....	51
3.2 Problemes de manteniment	55

3.3	Problemes de confortabilitat.....	57
3.4	Problemes mediambientals	59
4.	CAS D'ESTUDI: PISCINES DEL SERVEI D'ACTIVITAT FÍSICA DE LA UAB ..	65
4.1	Introducció.....	65
4.1.1	Antic sistema de treball i modificacions realitzades al llarg del temps	67
4.1.2	La nova instal·lació de depuració de l'aigua. Descripció del sistema d'ozonització	73
4.1.3	La nova tècnica en la minoració del pH: utilització de CO ₂ enfront l'HCl.....	76
4.2	Objectius de l'estudi	79
4.3	Metodologia.....	79
4.3.2	Metodologia analítica	82
4.4	Resultats i discussió.....	93
4.4.2	Paràmetres ambientals	93
4.4.2.1	Temperatura	93
4.4.2.2	Oxigen dissolt	94
4.4.2.3	Conductivitat	96
4.4.2.4	Potencial redox	98
4.4.2.5	Clor	100
4.4.3	Subproductes de la desinfecció.....	105
4.4.4	El CO ₂ enfront l'HCl. Paràmetres H ₂ CO ₃ , HCO ₃ ⁻ i pH	106
5	CONCLUSIONS I PROPOSTES DE FUTUR.....	115
5.1	Conclusions.....	115
5.2	Propostes de futur.....	119
5.2.1	Instal·lacions del Servei d'Activitat Física de la UAB.....	119
5.2.2	Resta de piscines cobertes	121
6.	BIBLIOGRAFIA	125

ANNEXES

ANNEX 1. Legislació

ANNEX 2. Notícies

ANNEX 3. Paràmetres de control mediambientals

ANNEX 4. Recopilació de dades

ANNEX 5. Pressupost

Agraïments

DOCUMENT DE SÍNTESI

ÍNDIX DE GRÀFIQUES

Gràfica 1. Distribució de l' HOCl i del ió ClO^- en aigua per a diferents valors de pH.	26
Gràfica 2. Corba obtinguda durant la cloració.	27
Gràfica 3. Representació gràfica típica d'una valoració àcid-base.	87
Gràfica 4. Representació gràfica d'una valoració àcid-base pel mètode del punt final, a punt final 8,3.	88
Gràfica 5. Evolució de la temperatura de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	93
Gràfica 6. Evolució de l'oxigen dissolt de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	95
Gràfica 7. Evolució de la conductivitat de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	97
Gràfica 8. Evolució del potencial redox de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	99
Gràfica 9. Evolució del clor total, lliure i combinat, de la piscina gran durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	100
Gràfica 10. Comparació de l'evolució del clor lliure i combinat de la piscina gran entre els valors obtinguts a nivell personal (entre les 16 i les 18h) i els obtinguts pel personal de manteniment (15h) durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	102
Gràfica 11. Evolució del clor total, lliure i combinat, de la piscina petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.	103

Gràfica 12. Evolució de les espècies d'àcid carbònic (H_2CO_3) i bicarbonat (HCO_3^-) de les piscines durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.....	106
Gràfica 13. Evolució de les espècies d'àcid carbònic (H_2CO_3) i bicarbonat (HCO_3^-) en comparació amb el pH detectat per la sonda de la piscina petita.....	108
Gràfica 14. Evolució del pH teòric de la piscina gran en comparació amb el que marca la sonda de pH durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.....	109
Gràfica 15. Evolució del pH teòric de la piscina petita en comparació amb el que marca la sonda de pH durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny.....	110

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Constants d'equilibri del sistema de carbonats en relació amb la temperatura.....	31
Taula 2. Potencials d'oxidació-reducció de l'ozó (O_3) i del clor (Cl_2).....	44
Taula 3. Valors de $\text{C} \cdot t$ ($\text{mg} \cdot \text{min}/\text{L}$) per a un 99% inactivació dels microorganismes a 5°C i $\text{pH}=6-7$	45
Taula 4. Classificació dels DBP clorats segons la IARC.....	54
Taula 5. Condicions tèrmiques de l'aire i de l'aigua d'una piscina coberta segons la legislació vigent.	57
Taula 6. Condicions tèrmiques de l'aire i aigua d'una piscina coberta recomanades per a l'estalvi energètic.....	58
Taula 7. Condicions d'operació amb cloració.....	71
Taula 8. Condicions d'operació amb ozonització.....	75
Taula 9. Períodes de realització de les anàlisis i productes utilitzats en la depuració de l'aigua de les piscines.....	80
Taula 10. Informació addicional de la que s'ha disposat alhora d'analitzar els resultats.....	81

Taula 11. Mitjanes obtingudes de la temperatura per a cada piscina i cada període.....	94
Taula 12. Mitjanes obtingudes de l'oxigen dissolt per a cada piscina i cada període	95
Taula 13. Mitjanes obtingudes de la conductivitat per a cada piscina i cada període	97
Taula 14. Mitjanes obtingudes del potencial redox per a cada piscina i cada període	99
Taula 15. Mitjanes obtingudes del clor per a la piscina gran i cada període.....	101
Taula 16. Mitjanes obtingudes del clor per la piscina petita i cada període	104
Taula 17. Mitjanes obtingudes d'àcid carbònic i bicarbonat per les piscines i cada període	107
Taula 18. Mitjanes obtingudes del pH per a cada piscina i cada període	112

ÍNDIX D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1. Esquema d'una instal·lació convencional del tractament de l'aigua de piscina.	32
Il·lustració 2. Distribució dels DBP en aigües clorades.....	37
Il·lustració 3. Esquema d'una instal·lació de tractament de l'aigua amb un sistema d'ozonització.....	41
Il·lustració 4. Piscina gran del SAF	65
Il·lustració 5. Piscina petita del SAF.	65
Il·lustració 6. Sonda de clor i de pH de la piscina gran	68
Il·lustració 7. Dispensador d'hipoclorit sòdic de la piscina gran	70
Il·lustració 8. Filtres de sorra de sílex	71
Il·lustració 9. Bombes i prefiltres de la piscina gran	72
Il·lustració 10. Dispensadors d'àcid clorhídric de la piscina gran.....	72
Il·lustració 11. Generador d'ozó.....	73
Il·lustració 12. (1) Torre de contacte i (2) filtre de carbó actiu.....	74

II·lustració 13. Dispensadors de CO ₂ d'ambdues piscines.	77
II·lustració 14. Laboratori utilitzat durant les anàlisis.....	82
II·lustració 15. Oxímetre portàtil utilitzat.....	83
II·lustració 16. Sensor d'oxigen.....	83
II·lustració 17. Conductímetre portàtil utilitzat	84
I·lustració 18. Sensor de conductivitat	84
II·lustració 19. Colorímetre portàtil utilitzat.....	86
II·lustració 20. Dissolució rosada obtinguda en una de les determinacions de clor portades a terme al laboratori. Al costat, les pastilles DPD 1 i DPD 3 utilitzades en la mesura.....	86
II·lustració 21. Esquema de les etapes del funcionament del valorador automàtic utilitzat	89
II·lustració 22. Valorador automàtic utilitzat	91
II·lustració 23. Detall de les dues buretes de les que consta el valorador automàtic	91
II·lustració 24. Elèctrode de pH utilitzat.....	92
II·lustració 25. Elèctrode redox utilitzat	92

Acrònims

❖ SAF	Servei d'Activitat Física
❖ UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
❖ DBP	<i>Desinfection by-products</i> / Subproductes de la desinfecció
❖ SAQ	Servei d'Anàlisi Química
❖ AGBAR	Aigües de Barcelona
❖ EPA	Environmental Protection Agency
❖ DQO	Demanda Química d'Oxigen
❖ DBO	Demanda Biològica d'Oxigen
❖ THM	Trihalometans
❖ IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i> / Agència Internacional per a la Recerca del Càncer
❖ HAA	Haloacetic acids / Àcids acètics halogenats
❖ HC	Hidrat de cloral

1. INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

L'aigua és un recurs natural present en la Terra i només un 3 % d'aquesta es troba com a aigua dolça. El 97 % restant correspon a aigua salada, la qual no és apta ni per al consum ni per a la majoria de les activitats humanes. Del 3 % abans esmentat, un 22 % es troba com a aigües subterrànies i tant sols un 1 % com a aigües superficials, ja que la resta (77 %) es troba retinguda en glacials i casquets de gel. Així doncs, del total de l'aigua del nostre planeta, els rius i llacs, els quals constitueixen la major font de consum humà, només en representen al voltant d'un 0,01%.

Però no només és important la quantitat de l'aigua ja que, en la majoria dels casos, aquesta és funció de la seva qualitat, on la química hi juga un doble paper. Per una banda, una de les causes principals de la contaminació de les aigües la tenen els compostos químics sintètics. No obstant, molts dels problemes ambientals com la contaminació de l'aigua de consum han estat solucionats per la química, ajudant a purificar l'aigua i millorant així la salut humana.

Si bé el cas de la depuració d'aigua de piscines suposa tant sols una petita part del consum global de l'aigua, és un consum que augmenta a mesura que ho fa el nivell de benestar social. Les piscines són un exemple de la necessitat d'obtenir una aigua de qualitat, que garanteixi tant la salut humana com, indirectament, la del medi ambient. Per aconseguir això però, és necessari estudiar aquells mètodes químics que, proporcionant una aigua neta i saludable a les persones, assegurin també la qualitat del medi natural.

Les piscines, tant les destinades a l'ús recreacional o lúdic com les destinades a l'exercici regulat i de competició, requereixen unes condicions òptimes que garanteixin la higiene, la seguretat i la confortabilitat de les instal·lacions, tant per als usuaris com per als qui hi treballen.

Aquestes condicions, regulades per la legislació vigent, engloben els elements constructius de les instal·lacions, el ús i manteniment de les mateixes, així com la desinfecció de l'aigua amb tractaments fisicoquímics (cloració, ozonització, radiació UV, etc.) que assegurin la salubritat de l'aigua.

Un dels problemes que més preocupa de les piscines radica en la formació de subproductes contaminants resultants de la desinfecció de l'aigua. Els nivells d'aquests subproductes en l'ambient de les piscines ve molt influenciat pel tractament tecnològic que s'empri en desinfectar l'aigua.

Cada vegada més, s'investiguen noves tècniques en el tractament d'aquestes aigües per a que siguin més saludables i respectuoses amb el medi ambient. Així doncs, tractaments com el de la cloració comencen a ser substituïts per altres com el de l'ozonització, que tot i ser una tècnica ja usada des de fa temps per a altres finalitats resulta una innovació, en el nostre país, en quant a depuració d'aigües de piscina.

Una de les piscines pioneres en la utilització d'ozó és la piscina del Servei d'Activitat Física (SAF) a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), ja no tant sols per la utilització d'ozó en el seu sistema de depuració de l'aigua sinó també per la incorporació de diòxid de carboni com a reductor del pH, en substitució del àcid clorhídric.

Aquestes millores tècniques en el tractament d'aigües lúdiques (piscines, spas, hidromassatges, etc.), tant pel que fa a la salut humana com al medi ambient, seran analitzades en aquest projecte, on es prendrà com a referència d'estudi les piscines del SAF de la UAB.

1.1 Antecedents. Desinfecció d'aigües

La desinfecció de l'aigua ha estat i encara és un dels objectius més importants de salut pública en el darrer segle i mig. L'aparició de malalties infeccioses així com la creixent contaminació del medi ambient ha fet convertir en una necessitat el reavaluar contínuament les tècniques de desinfecció per tal de millorar i garantir la salut humana i reduir els impactes sobre el medi.

L'objectiu de qualsevol procés de desinfecció de l'aigua és eliminar o inactivar els microorganismes, siguin patògens o no, així com proporcionar un desinfectant residual en l'aigua tractada per a prevenir el recreixement bacterià i la transmissió de malalties.

Actualment, el tractament més comú de depuració d'aigües, tant per al consum humà com per a l'ús recreacional, és aquell que utilitza com a desinfectant el clor. Des de que es van descobrir les seves propietats desinfectants fins a l'època actual, els usos i aplicacions basats en aquest element halogenat han anat augmentant. Ja fa més d'un segle que s'utilitza en les piscines, poc després de que es fes en els tractaments d'aigües de sanejament públic. Així doncs, avui en dia la majoria de les piscines públiques de Catalunya desinfecten l'aigua de bany amb compostos halogenats com el clor o el brom.

L'addició d'aquests desinfectants a l'aigua però, fa que reaccionin amb matèria orgànica i espècies inorgàniques per a formar una sèrie de compostos que es denominen subproductes de desinfecció, DBP (*disinfection by-products*) en l'acrònim anglès, els quals, com es veurà més endavant, poden resultar molt problemàtics per a la salut humana així com per al medi ambient. En funció dels desinfectants que apliquem a l'aigua es generaran uns o altres DBPs en menor o major concentració i seran més o menys tòxics.

Les piscines que utilitzen clor, les que d'ara en endavant s'anomenaran com a piscines convencionals, són les que es veuen més acusades pels subproductes de desinfecció que en elles es formen i s'acumulen. En les darreres dècades s'han produït en molts casos greus problemes de salut, com per exemple, a causa d'exposicions elevades al gas clor en usuaris i treballadors. Per qüestions de salut, junt amb els problemes de manteniment, confort i mediambientals es busquen noves alternatives per a la depuració de l'aigua.

Una d'aquestes alternatives consisteix en una tècnica basada en un procés d'oxidació avançada, l'ozonització, la qual permet reduir la formació dels DBP, evitant-ne o reduint-ne així doncs els problemes esmentats més amunt. Però, tot i aportar beneficis en la qualitat de l'aigua respecte del clor i com es veurà més endavant, també pot suposar l'aparició d'altres subproductes. Tot i això, fa que la seva utilització a les piscines permeti oferir als banyistes una aigua més neta i saludable, així com també un benefici al medi ambient eliminant la major part dels productes contaminants que habitualment hi ha dissolts en l'aigua, evitant-se que s'aboquin al clavegueram o s'alliberin a l'aire. Tot i ser una innovació en el tractament d'aigua de piscines en el nostre país, ja des de fa temps, l'ozó s'aplica en plantes de potabilització d'aigua i, en la resta d'Europa, en la depuració d'aigües de piscines.

Pel que fa a la problemàtica associada a la desinfecció d'aigües cal distingir entre aquelles destinades al consum humà i les del vas de piscina, que tot i poder tenir un tractament de desinfecció en comú, els efectes de salut que se'n deriven poden ser ben diferents. Un dels principals motius resulta la via d'exposició als contaminants. Pel que fa a les aigües de consum, l'entrada de contaminants es fa per via digestiva, resultat de la directa ingestió de l'aigua. A diferència d'aquesta, les aigües de piscina presenten una problemàtica que esdevé, o bé pel contacte dèrmic, o bé per la ingestió de l'aigua (molt menor que en aigües de consum) o bé

per la inhalació, la qual variarà en funció de si es tracta de piscines al descobert o cobertes. Una segona causa que diferencia la depuració d'aigües de consum i de piscina resulta en que les piscines constitueixen un sistema tancat i que el tractament en el vas de piscina es realitza en "bucle", produint un efecte d'amplificació de la quantitat de subproductes generats degut a l'estancament de l'aigua (a excepció del petit percentatge que es renova diàriament). Aquest efecte genera un impacte major degut a l'acumulació dels mateixos i, per tant, és més alt com més llarg sigui el temps d'exposició a l'aigua i a l'ambient contaminat, a diferència del tractament d'aigües de consum que es tracta d'un sistema en que les aigües es processen d'una manera més "lineal".

En aquest estudi però, només s'estudiarà el cas de les aigües lúdiques de manera que el tractament de l'aigua per a consum humà així com la seva problemàtica associada no es tindran en compte. La legislació autonòmica de referència és doncs el Real Decret 95/2000 pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic, incorporat en l'Annex 1.

La majoria d'estudis i bibliografia existents sobre la desinfecció d'aigües i la seva problemàtica són a nivell d'aigües potables, en les que s'ha estudiat sobretot la formació de DBPs i els seus efectes en la salut humana. En quant a aigües lúdiques o de piscina, la majoria d'estudis realitzats són a nivell de laboratori, plantes pilot en les quals hi ha un control exhaustiu de cadascuna de les variables (T° , pH, dosis, etc.). Un estudi en piscines reals es va portar a terme l'any 2003 en quant a la formació de DBP en aigües ozonitzades en comparació amb aigües clorades. Les piscines objecte d'aquest estudi van ser la Piscina Olímpica del Palau Sant Jordi de Barcelona (coincidint amb el Mundial de Natació) i la Piscina del Servei d'Activitat Física de la UAB. També s'ha trobat algun estudi que relaciona l'exposició al clor i la salut dels nedadors.

No s'ha trobat cap estudi que analitzi i reveli el comportament de totes les variables que entren en joc en una piscina real (conductivitat, pH, redox, dosis de desinfectant, T° , carbonats, etc.), sigui quin sigui el desinfectant utilitzat.

Els efectes sobre la salut i el medi ambient causats pels subproductes de desinfecció estan molt poc estudiats en piscines. Actualment no existeix cap estudi valorant la substitució de la cloració amb una altra tecnologia com l'ozonització, la qual sembla disminuir els nivells d'exposició i els efectes als humans.

1.2 Objectius

L'objectiu general d'aquest projecte esdevé en l'estudi dels aspectes ambientals que incorporen les noves tècniques de tractament de l'aigua en les piscines públiques, en concret la tècnica de l'ozonització i la utilització de diòxid de carboni com minorador del pH.

Es pretén comparar la principal tècnica de desinfecció utilitzada avui en dia, la cloració, amb una de les possibles alternatives, l'ozonització. Per aquesta última tècnica s'estudiarà el cas de les piscines del SAF de la UAB, realitzant un anàlisi de les dades obtingudes darrerament sobre diferents paràmetres de control de l'aigua així com de les dades obtingudes a nivell personal.

Així mateix, s'estudiarà la nova aplicació que es fa servir per a la minoració del pH mitjançant diòxid de carboni (CO_2). A partir d'anàlisis de laboratori, es pretén determinar si la quantitat de CO_2 que actualment es dispensa a l'aigua és l'adequada amb l'objectiu d'optimitzar aquest sistema. La part experimental consistirà també en altres determinacions analítiques diàries de paràmetres com l'oxigen dissolt, la conductivitat, el pH o el clor, aplicant diferents tractaments químics a l'aigua de la piscina a fi de veure si hi ha canvis substancials.

A més a més d'estudiar aquestes tècniques de desinfecció a nivell de qualitat de l'aigua i dels subproductes que se'n generen, es pretén determinar també la confortabilitat i els riscos laborals i de salut que porten associades, així com l'efecte d'aquests tractaments sobre el medi ambient.

Els principals objectius del present projecte es defineixen de forma sintètica a continuació:

- Determinar els beneficis, principalment a nivell mediambiental, de salut i de confortabilitat dels usuaris, aportats tant per l'ozonització en front de la cloració com pel control de pH amb CO_2 .
- Determinar si existeix una variació significativa de certs paràmetres de l'aigua de piscina en funció del tractament químic utilitzat i veure que es troben dins la legislació vigent.
- Optimitzar el sistema de dispensació de diòxid de carboni per a minorar el pH a les piscines del SAF.

Altres objectius associats als anteriors són els següents :

- Conèixer i aprendre la metodologia analítica necessària per a la determinació i control d'alguns paràmetres ambientals en una piscina pública.
- Determinar la viabilitat tècnica de les innovacions implantades al SAF

1.3 Metodologia

Abans d'explicar el procediment que s'ha seguit per a l'elaboració del present projecte cal esmentar que, i com es veurà al llarg de la memòria, el projecte pot dividir-se en dues parts bastant diferenciades. La primera, més descriptiva, consisteix en la part més teòrica del projecte i la qual servirà com a introducció de la segona part, de caire bàsicament experimental.

Per a l'elaboració de la part teòrica ha estat necessària una recerca de documentació, tant a partir de fonts bibliogràfiques (llibres, revistes, articles, altres estudis o projectes relacionats amb la matèria en qüestió, etc.) com a partir de fonts virtuals (revistes digitals, pàgines web, etc.).

També han estat necessàries diverses visites a les instal·lacions de les piscines del SAF per a complementar la informació i entendre de més a prop alguns dels aspectes més tècnics utilitzats en el circuit de la depuració de l'aigua.

Aproximadament una setmana prèvia a l'inici de la part experimental es van realitzar diversos assajos en el laboratori com a preparació de tot el que es faria durant la fase experimental.

Aquesta segona part del projecte s'ha basat en determinacions analítiques diàries al laboratori, des del 27 març fins al 16 juny. Aquest espai temporal d'estudi s'ha dividit en tres períodes, en funció del tractament químic aplicat a l'aigua:

	Període 1 (27 març-25 abril)	Període 2 (26 abril-18 maig)	Període 3 (19 maig-16 juny)
Desinfectant	Hipoclorit sòdic	Ozó + hipoclorit sòdic	Hipoclorit sòdic
Reductor de pH	Diòxid de carboni	Diòxid de carboni	Àcid clorhídric

Les determinacions analítiques, en les que s'ha utilitzat els instruments i material prestats pel Departament de Química de la UAB, s'han dut a terme en el laboratori situat en el SAF i han consistit en la determinació dels paràmetres següents: pH, oxigen dissolt, conductivitat, temperatura, potencial redox, clor lliure i combinat, àcid carbònic i bicarbonat. La metodologia analítica aplicada en el laboratori es detalla en l'apartat 6.3.1 del capítol 6.

A més a més de les dades obtingudes a nivell personal s'ha pogut consultar els valors d'altres paràmetres (com per exemple, els trihalometans) que han estat analitzats pel Servei d'Anàlisi Química (SAQ) de la UAB. Aquestes dades, les quals han servit tant per a l'ampliació d'informació com per a obtenir un estudi més rigorós, han estat facilitades pel mateix Servei d'Activitat Física de la UAB.

La presentació de les dades obtingudes s'ha realitzat a partir de gràfics i taules on es mostren tots el paràmetres determinats al llarg del temps i en els tres períodes d'estudi. Pel que fa a l'anàlisi i interpretació dels resultats ha estat necessària tant la consulta bibliogràfica a nivell de química i d'estudis relacionats, com la de personal més experimentat en el tema.

A part de les conclusions finals del projecte s'han realitzat unes propostes de futur que pretenen ajudar a millorar diversos aspectes de les piscines en general i propostes més específiques destinades únicament a les piscines del SAF. Aquestes tenen l'objectiu d'augmentar el rendiment i l'eficiència de les piscines, així com el de disminuir l'afecció al medi ambient i als éssers humans.

2. TÈCNIQUES DE DESINFECCIÓ

2. TÈCNIQUES DE DESINFECCIÓ

2.1 Desinfecció amb clor: la cloració

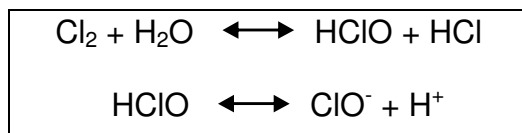
2.1.1 Introducció

La cloració és un procés molt utilitzat de desinfecció de l'aigua que implica uns beneficis els quals, en la potabilització d'aigües, van suposar un avenç clau en la salut pública reduint les malalties infeccioses.

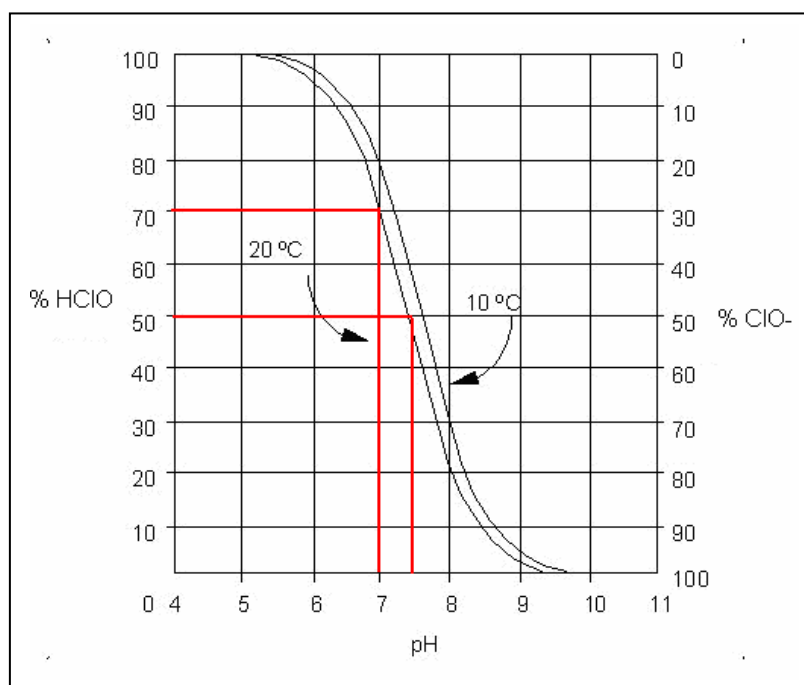
Aquesta tècnica es basa en la utilització de clor per a desinfectar l'aigua. El clor és un bon desinfectant degut a la seva eficient capacitat d'oxidació, amb la que destrueix o inhibeix el creixement de bacteris i oxida els compostos orgànics i ions metàl·lics (Fe^{2+} , Mg^{2+} , etc.) presents a l'aigua. És un element per tant, que resulta bastant eficaç, econòmic i fàcil de manejar pel tractament d'aigües, essent doncs natural que sigui el majoritàriament utilitzat en el tractament de piscines.

Normalment el clor s'addiciona a l'aigua en forma de gas o de sals d'hipoclorit sòdic o càlcic, les quals presenten un alt contingut en clor (del 35 al 70 %).

En addicionar el clor en forma de gas, aquest en contacte amb l'aigua es dissocia en àcid hipoclorós (HClO). A pH's de piscina (7-7,5) i a una temperatura d'uns 20 °C, aquest àcid en solució es troba en equilibri amb el seu parell base, el ió hipoclorit (ClO^-) que, tal i com s'observa en la gràfica 1, en les condicions ja esmentades de pH i temperatura, en l'aigua de piscina l'àcid hipoclorós és l'espècie majoritària i amb major poder desinfectant.



Quadre 1



Gràfica 1. Distribució de l'HOCl i del ió ClO^- en aigua per a diferents valors de pH. A pHs entre 7 i 7,5 predomina l'HOCl en un percentatge d'entre el 50 i el 70 % a una temperatura de 20 °C, a diferència de l' ClO^- que es troba en un percentatge d'entre el 30 i 50 %. Font: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks>

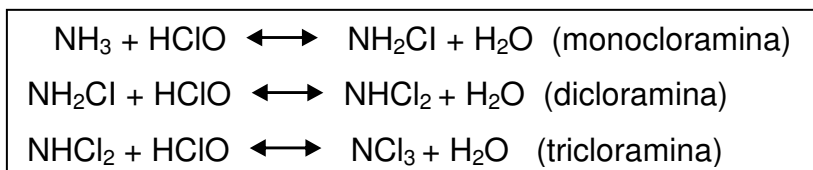
A partir d'aquesta gràfica es pot observar com, a pHs entre 6 i 8, les quantitats d'HOCl i ClO^- són molt sensibles al pH. Així doncs, convé ajustar el punt d'equilibri de la reacció per a afavorir la predominança de l'espècie desinfectant HOCl. Donat que la capacitat desinfectant d'ambdues espècies varia entre sí, el control del pH en les piscines pot ser un factor crític alhora de determinar el grau de desinfecció que es vol assolir.

2.1.2 Procés de desinfecció del clor

Primerament, cal definir tres conceptes importants en relació al procés de cloració;

Clor lliure: el formen les espècies de clor (Cl_2), d'àcid hipoclorós (HClO) i el ió hipoclorit (ClO^-), presentant l'últim menor poder microbici i oxidant que els dos primers.

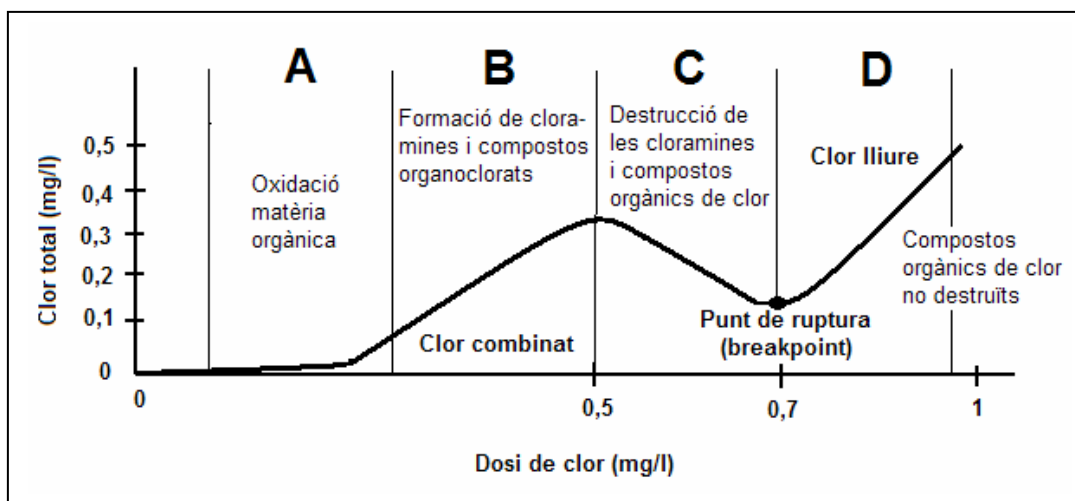
Clor combinat: és el clor en forma de cloramines, productes resultants de la reacció del clor amb compostos amoniacals. Tenen poder desinfectant i bactericida però molt menor que el clor lliure. Es poden formar mono, di i tricloramines segons la relació de clor amb l'amoníac, el pH i la temperatura de l'aigua. Les reaccions que les produeixen són les següents:



Quadre 2

Clor total: suma de la concentració de clor lliure i clor combinat.

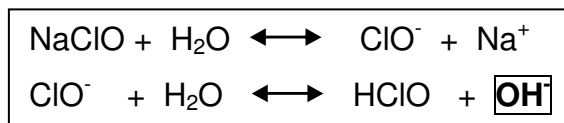
El procés de cloració es pot sintetitzar en les següents fases:



Gràfica 2. Corba obtinguda durant la cloració. Font: Elaboració pròpia a partir del llibre "Aspectos sanitarios del estudio de las aguas" de Espigares, M. i Pérez, J.A. (1985)

En la fase A tot el clor que s'afegeix és emprat en combinar-se amb la matèria orgànica i com a conseqüència, el nivell de clor total és zero. En arribar a la fase B el nivell de clor total augmenta a causa de la formació de clor combinat en forma de cloramines, productes que com s'ha esmentat abans, presenten baix poder de desinfecció en comparació amb el clor lliure. En la fase C el clor que s'afegeix s'utilitza en destruir les cloramines de manera que, el clor total mesurat disminueix fins a arribar a un mínim anomenat punt de ruptura o "breakpoint", moment on es considera que l'aigua ja està desinfectada. A partir d'aquest punt comença la fase D, on tot el clor afegit es troba en forma de clor lliure, el qual s'empra per a mantenir la desinfecció de l'aigua i assegurar la seva salubritat de possibles contaminacions posteriors provocades pels usuaris en el vas de piscina.

Cal afegir que, en piscines públiques, el sistema de cloració més comunament emprat és l'ús d'hipoclorit sòdic (NaClO), tant pel baix preu com per la facilitat de maneig. Al afegir-lo a l'aigua, aquest es dissocia en les següents espècies:



Quadre 3

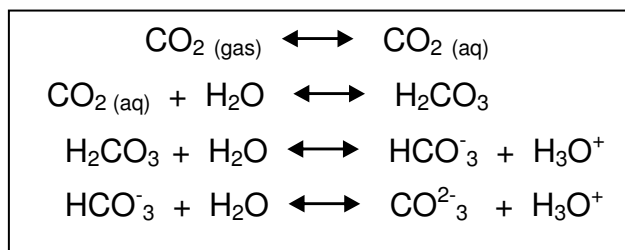
Com s'observa en el quadre 3, a mesura que s'afegeixi aquest compost a l'aigua anirà augmentant el seu pH per l'increment dels ions OH^- . Aquest augment de pH es contrarestarà mitjançant l'addició d'un àcid o reductor del pH, normalment, l'àcid clorhídric.

2.1.3 Control de pH en el vas de piscina

El control del pH de l'aigua del vas de piscina per assolir els valors establerts per la legislació ($\text{pH}=7\text{-}7,8$) és un aspecte molt important a tenir en compte perquè, en la majoria de piscines convencionals, en dependrà el nivell de desinfecció assolit.

Es recorda que les espècies de clor formades són molt sensibles en aquest rang de pH, com s'observava en la gràfica 1 de l'apartat 2.1.1. A més a més, del pH en dependran les dosis d'àcid o reductor de pH addicionades. Un mal control d'aquest paràmetre doncs podria generar importants incidències, tant pels usuaris de la piscina com per a la instal·lació, ja que, per exemple, un pH inferior a 7 podria causar la corrosió del materials de construcció de la piscina

El nivell exigít de pH i el fet de mantenir-se constant s'aconsegueix principalment per l'efecte tampó del sistema de carbonats existent en qualsevol piscina en contacte amb l'aire. L'equilibri de les espècies del sistema de carbonats és el que garantirà l'efecte tampó de l'aigua, és a dir, una elevada capacitat de l'aigua per a neutralitzar addicions d'àcids o bases de manera que no facin variar el pH de l'aigua. A continuació, s'observa l'equilibri esmentat del sistema de carbonats:

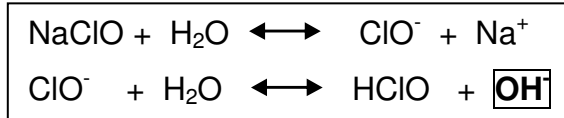


Quadre 4

L'existència d'aquestes espècies és dona pel constant contacte de l'aigua amb l'aire, el qual està carregat de diòxid de carboni (CO_2). No obstant, al pH i temperatura que s'assoleix en una piscina només es trobaran en dissolució les espècies de bicarbonat, àcid carbònic o diòxid de carboni degut a les seves constants d'equilibri. En la taula 6 poden observar-se algunes de les constants importants d'equilibri de carbonats en relació amb la temperatura.

El sistema de carbonats es veu alterat per l'augment de pH que causa l'addició del desinfectant més utilitzat, l'hipoclorit sòdic (NaClO), que al afegir-lo a l'aigua es dissocia en les espècies que s'observen en el quadre 5, augmentant el ions OH^- i

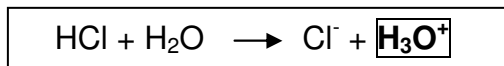
desplaçant, pel principi de Le Chatellier, l'equilibri del sistema de carbonats cap a la dreta formant-se així més HCO_3^- .



Quadre 5

Aquest augment del pH pot originar que l'àcid hipoclorós en el que es descompon l'hipoclorit dins l'aigua, es dissociï a la vegada, a mesura que augmenta el pH, en ió hipoclorit, el qual no té tanta capacitat desinfectant.

Aquesta tendència natural de l'aigua desinfectada amb hipoclorit sòdic a augmentar el pH es contraresta mitjançant l'addició d'un àcid o reductor de pH. Habitualment aquest és l'àcid clorhídric o sulfúric, tot i que també poden utilitzar-se d'altres com el diòxid de carboni. El cas més típic és l'addició d'àcid clorhídric, el qual es dissocia de la següent manera:



Quadre 6

Els ions hidroni formats (H_3O^+) faran baixar el pH contrarestant els ions hidròxid (OH^-) i actuaran sobre els equilibris àcid-base que hi ha en solució, com és el cas dels carbonats. Per aquest motiu i pel principi de Le Chatellier, aquest ions desplaçaran l'equilibri dels carbonats cap a l'esquerra formant àcid carbònic (àcid feble) i disminuint així el pH als valors desitjats.

Si s'utilitza CO_2 per acidificar l'aigua, en augmentar la concentració de CO_2 , aquest equilibri es desplaça cap a la dreta de la reacció formant àcid carbònic. Així doncs, s'acidifica l'aigua i contraresta el canvi de pH produït pels ions OH^- .

Cal esmentar que aquesta reacció de formació de l'àcid carbònic és de cinètica molt lenta pel canvi de configuració molecular que ha de produir-se (CO_2 : molècula lineal, H_2CO_3 : molècula no lineal). És per això que quan es determina l' H_2CO_3 s'obté el valor d'una espècie hipotètica equivalent a la del quadre 7, on l'àcid carbònic real constitueix tan sols un 0,16 %, essent el 99,84 % restant CO_2 aquós.

$$[\text{H}_2\text{CO}_3]^* = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{CO}_2(\text{aq})]$$

Quadre 7

On $[\text{H}_2\text{CO}_3]^*$ és l'espècie hipotètica. D'ara en endavant, quan es parli de l' H_2CO_3 es farà referència a aquesta espècie hipotètica.

Així doncs, al ser tant lenta la reacció de formació de l' H_2CO_3 , gran quantitat de CO_2 pot evaporar-se a l'aire abans d'haver reaccionat tot el CO_2 afegit a l'aigua.

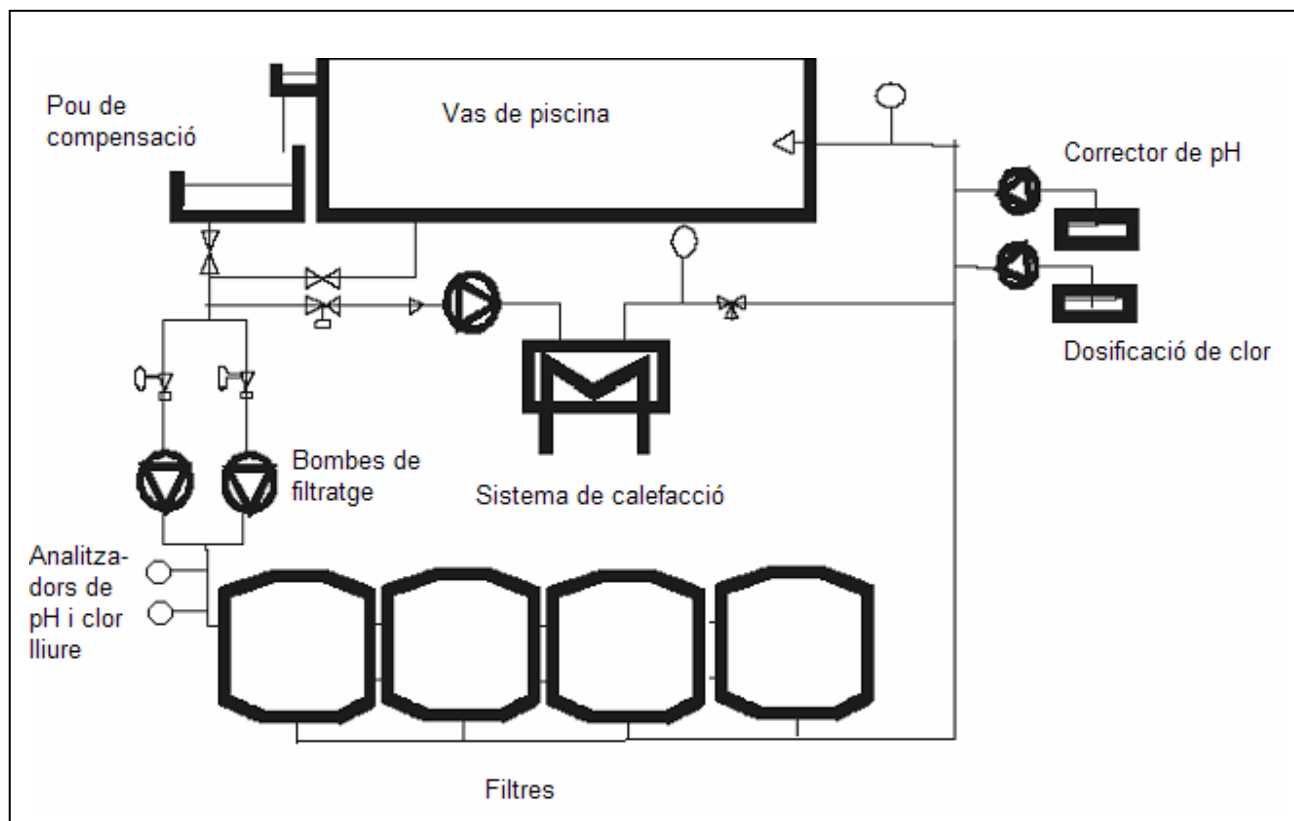
La quantitat de reductor de pH a addicionar a l'aigua abans de la seva entrada al vas de piscina es realitzarà segons el valor que indiqui la sonda de pH situada al principi del circuit de recirculació, com s'explicarà en el següent apartat.

Reacció	Temperatura °C						
	5	10	15	20	25	40	60
1. $\text{CO}_{2(\text{ac})} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{ac})}; pK_H$	1.20	1.27	1.34	1.41	1.47	1.64	1.8
2. $\text{H}_2\text{CO}_3^* \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+; pK_{a,1}$	6.52	6.46	6.42	6.38	6.35	6.30	6.30
3. $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+; pK_{a,2}$	10.56	10.49	10.43	10.38	10.33	10.22	10.14
4. $\text{CaCO}_{3(s)} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}; pK_{so}$	8.09	8.15	8.22	8.28	8.34	8.51	8.74
5. $\text{CaCO}_{3(s)} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-; p(K_{so}/K_{2,2})$	-2.47	-2.34	-2.21	-2.10	-1.99	-1.71	-1.40

Taula 1. Constants d'equilibri del sistema de carbonats en relació amb la temperatura. Font: JENKINS (1997), "Química del agua", pag. 182

2.1.4 Funcionament de la instal·lació

Per a entendre el funcionament d'aquesta tècnica s'ha realitzat una il·lustració del que seria l'esquema bàsic del tractament de l'aigua en una piscina convencional:



Il·lustració 1 Esquema d'una instal·lació convencional del tractament de l'aigua de piscina. Font: "La depuració de l'aigua lúdica, sistemes convencionals vs. alternatius". Gomà, A. 2005.

L'adequació sanitària de l'aigua consta d'una fase física i d'una fase química. Com es pot observar en la il·lustració 1, l'aigua superficial que vessa de la piscina és recollida per un canal disposat en tot el perímetre del vas que la condueix al pou de compensació. Aquesta aigua és impulsada, junt amb un petit percentatge d'aigua recollida del fons de la piscina, per les bombes de filtratge cap als filtres. Abans de les bombes, tot i que no s'observa en la il·lustració, es troben els prefiltres per a filtrar els objectes grans com cabells o altres que poden embussar o fins i tot espatllar la instal·lació. És important destacar que, abans també del

filtratge, es procedeix a analitzar l'aigua recirculada mitjançant sondes que mesuren el nivell de desinfectant i de pH amb l'objectiu de que després del filtratge es pugui afegir el clor i el reductor de pH necessaris. Les diferents normatives estableixen les concentracions màximes i mínimes d'aquests desinfectants a afegir.

En l'etapa de filtratge, tractament físic de la instal·lació, s'aconsegueix eliminar totes les partícules que es troben en suspensió. El filtre consisteix en un dipòsit ple de material granular de diferents mides que forma un material porós. L'aigua hi entra per la part superior i, un cop neta, surt per la part inferior. Els filtres de sorra de sílex són els més utilitzats en piscines públiques.

Per a millorar el rendiment dels filtres i eliminar les partícules més fines s'afegeix normalment un floculant, el qual ajudarà a la sedimentació de les partícules i seran retingudes en els filtres. El floculant més utilitzat és el sulfat d'alumini.

La darrera etapa de la depuració, prèvia al retorn de l'aigua al vas de piscina, consisteix en el tractament químic de l'aigua i es basa en l'addició del clor i del reductor de pH que, com s'ha esmentat anteriorment, la seva dosificació anirà regulada en funció dels valors que enregistren les sondes situades al principi del circuit de depuració.

Si la piscina és de poca fondària la recirculació de tot el volum d'aigua acostuma a trigar unes dues hores, i d'un quatre hores si es tracta d'una piscina més gran.

2.1.5 Subproductes de la cloració

El procés descrit de cloració, malgrat els beneficis que aporta, origina els anomenats subproductes de desinfecció (DBP) clorats, els quals han estat associats a diversos efectes negatius i crònics sobre la salut humana, essent els

més coneguts i perjudicials els trihalometans. Els DBP clorats van ser detectats en aigües potables per primer cop l'any 1974.

Aquests DBP són producte de les reaccions entre el desinfectant utilitzat i altres substàncies presents en la piscina. Els seus precursors poden ser tant les substàncies inorgàniques, especialment els ions bromurs (Br^-), com les orgàniques, com per exemple els aminoàcids i les proteïnes. El principal precursor dels DBP però, esdevé la matèria orgànica natural (NOM), formada pels àcids húmics i fúlvics. La formació d'aquests subproductes dependrà també del nombre de nedadors, ja que són els principals contribuents en la presència d'aquestes substàncies.

A continuació, hi ha una breu descripció d'alguns dels subproductes de desinfecció clorats (la informació ha estat extreta de Ventura, F., Cancho, B. "Compostos orgànics generats en la desinfecció d'aigües potables". *Societat Catalana de Química*. 39-48, (2005)) :

Trihalometans (THM)

És el grup predominant en les aigües de piscina, tant en aigua com en aire (són altament volàtils), a més de ser el grup de DBP que presenta més interès per les seves propietats tòxiques. Es produeixen com a conseqüència de la reacció del clor lliure amb la matèria orgànica present a l'aigua i la seva concentració en aigües de consum clorades es troba legislada per la Unió Europea.

La fórmula general dels THM és CHX_3 i els formen principalment els compostos cloroform, bromodiclorometà, diclorobromometà i bromoform. Si les aigües contenen bromurs o iodurs es poden formar THMbromats o iodoTHM, podent ser la X de la fórmula Cl, Br o I.

Resultats d'un estudi (Judd and Black 2003) assenyalen que els nivells de THM en aigües de piscina són sensibles a la concentració de bromurs i a la dosi de clor afegida, i que varien en funció del pH, temperatura i dels constituents presents en l'aigua aportats pels nedadors. També revela que els nivells de THM depenen de la naturalesa de la font de carboni dels àcids húmics de la matèria orgànica i que, a partir d'un temps determinat, els seus nivells en aigua s'estabilitzen. Cal esmentar que, tot i tenir la majoria de DBP una certa volatilitat, aquest és el grup més volàtil de tots.

Àcids acètics halogenats o haloacètics (HAA)

És el segon grup majoritari, després dels THM, i la seva fórmula general és CH_2XCOOH , CHX_2COOH i CX_3COOH per als mono-, di- i trihaloacètics respectivament. Igual que amb els THM, a part de les formes clorades també es poden donar formes bromades (monobromoacètic i dibromoacètic). Els seus nivells en aigua també depenen de diversos factors com el pH (afavorits per pH baixos, a diferència dels THM), la quantitat de matèria orgànica, dosi de clor o temps de contacte.

Haloacetoniurils (HAN)

La seva fórmula general és CHX_2CN i CX_3CN , on X pot ser Cl o Br. Bàsicament són el dicloroacetoniuril, el dibromoacetoniuril i el bromocloroacetoniuril. Tant els mateixos HAN com els no halogenats són produïts quan les cloramines reaccionen amb els materials húmics i els aminoàcids (Trey et al., 1986). Fàcilment es descomponen en presència de clor lliure i a elevades temperatures.

Haloacetones (HK)

Són detectades en nivells baixos. La fórmula general és $\text{CHX}_2\text{COCH}_3$ i CX_3COCH_3 , dihaloacetones i trihaloacetones respectivament, que es formen en presència d'acetones i clor.

Hidrat de cloral (HC)

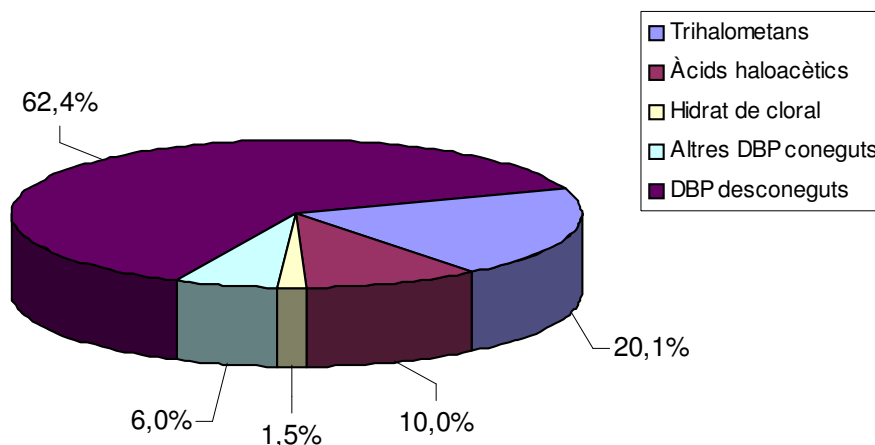
El constitueixen el tricloroacetaldehid i derivats bromats, i són un grup important de DBP en l'aigua. Es formen com a subproducte de la reacció del clor amb substàncies húmiques.

Cloramines (clor combinat)

Resulten de la combinació del clor lliure amb l'amoníac i altres compostos nitrogenats provinents de les aportacions d'urea, suor, etc. i són les principals responsables del típic "olor a piscina" i del mal sabor de l'aigua. Tot i que a vegades són utilitzades com a desinfectants el seu poder com a tal és baix, pel que la normativa fixa uns màxims en 0,6 ppm en el vas de piscina. Es poden eliminar si s'arriba al "breakpoint", oxidant-se el clor combinat i els residus nitrogenats. (Les reaccions de formació de les cloramines ja s'han vist en l'apartat 2.1.2).

La formació d'una o altre cloramina, així com la velocitat de reacció, es veu regida pel pH de l'aigua, la temperatura i la proporció de clor i amoníac. Una aigua tractada per cloraminació produirà subproductes com THM, HAA, HC, nitrats, nitrits, etc. (Diyamandoglu & Selleck, 1992; Kirmeyer et al., 1993, 1995).

Tot i haver anomenat els DBP clorats més importants, existeixen d'altres, com per exemple, el clorur de cianogen, la cloropicrina o els clorofenols. Tanmateix, es creu que aproximadament un 60% dels subproductes que es formen encara es desconeixen. A continuació es presenta la distribució mitjana dels DBP en aigües clorades:



II·lustració 2. Distribució dels DBP en aigües clorades. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la revista "Societat Catalana de Química" del 6/2005

Com s'ha anat veient, tot i no posar èmfasi en aquest aspecte, l'especiació i concentració de tots aquests subproductes està influenciada tant per la qualitat de l'aigua (naturalesa i concentració de la matèria orgànica, presència de bromurs, pH, temperatura, alcalinitat, etc.) com per les condicions del tractament (dosi de desinfectant, temps de contacte, etc).

Pel que fa a la legislació referent a aquests DBP, excepte les cloramines, no existeix cap normativa que limiti els nivells dels mateixos en aigües recreacionals, a diferència de les aigües de consum. Tot i que la concentració d'aquests en aigües de piscina acostuma a ser de l'ordre de micrograms per litre ($\mu\text{g/l}$), s'ha d'evitar al màxim que es produeixin i s'acumulin pels diversos efectes nocius que poden causar, com es veurà en el subcapítol 2.5.

2.2 Desinfecció amb ozó: l'ozonització

2.2.1 Introducció

L'ozonització és una tècnica que consisteix en la utilització d'ozó (O_3 , molècula formada per tres àtoms d'oxigen) com a agent desinfectant i oxidant altament efectiu. Des de que al 1893 va ser utilitzat com a desinfectant per primer cop, aquest ha tingut moltes aplicacions, com per exemple, en la potabilització d'aigües, en la depuració d'aigües residuals, en l'esterilització d'ambients i, fins i tot, ja fa dècades que s'aplica en la desinfecció d'aigües de piscina en altres països d'Europa.

La forma natural de l'ozó la trobem a l'estratosfera, on es troba en concentracions elevades, es forma espontàniament i filtra la radiació ultraviolada del sol, nociva pels humans. Els agents que ajuden a la seva formació són la radiació solar ultraviolada, els raigs còsmics i les tempestes elèctriques. No obstant, també el podem detectar en altres capes de l'atmosfera, com en la troposfera (ozó troposfèric), que si supera unes concentracions determinades es considera un contaminat atmosfèric.

2.2.2 Característiques de l'ozó

L'ozó és un gas incolor i es caracteritza per presentar una olor intensa i penetrant. Quan es presenta molt dens però, és d'un color blavós. És molt inestable, fàcilment es recombina a O_2 ; el tercer àtom d'oxigen de l'ozó té una gran tendència a separar-se de la molècula i a combinar-se amb altres elements químics, tot oxidant-los. Aquesta característica fa de l'ozó un gas molt reactiu, que pot tenir efectes corrosius sobre els materials i, a certes concentracions, efectes irritants sobre les mucoses dels éssers vius. És per això que la concentració en aire considerada perillosa és d'1ppm (ppm: parts per milió) o, el que és equivalent,

d'1 mg/l, valor límit fixat per l'EPA (Environmental Protection Agency) a partir del qual l'ozó es considera tòxic.

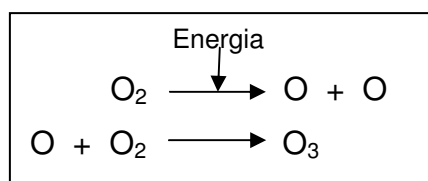
L'alt poder d'oxidació que presenta se li atribueix per tenir un elevat potencial d'oxidació-reducció (2,07 V), propietat que pot ser utilitzada per a la degradació de compostos contaminants o per a la desinfecció de l'aigua.

El temps de vida mitja de l'ozó en aigua destil·lada (a pH=7 i 20 °C) varia entre 20-30 minuts i 160 minuts, augmentant la seva inestabilitat en medi bàsic (Rodríguez Vidal, F.J., 2003).

2.2.3 Producció d'ozó

Donat que la vida mitja de l'ozó és molt curta en dificulta el seu transport i emmagatzematge, fent que la generació *in-situ* durant el procés de tractament sigui el més apropiat.

La generació d'ozó es pot portar a terme de diferents maneres. El mètode més utilitzat és dóna a partir d'una descàrrega elèctrica d'alt voltatge. Consisteix en filtrar l'aire exterior per a eliminar-li les impureses, assecant-lo posteriorment per a eliminar-ne la humitat i fent-lo passar per un tub de vidre amb dos elèctrodes separats. Seguidament, se li aplica una descarrega d'alt voltatge, compresa entre 10 i 20 kV a una freqüència de 50 a 200 Hz. Aquest mecanisme implica la generació de radicals atòmics d'oxigen, els quals reaccionaran amb l'oxigen molecular formant així les molècules d'ozó. Amb aquest sistema, les concentracions formades són d'entre 15 i 20 g ozó/m³. La reacció de formació de l'ozó és la següent:



Quadre 8

2.2.4 Procés de desinfecció de l'ozó

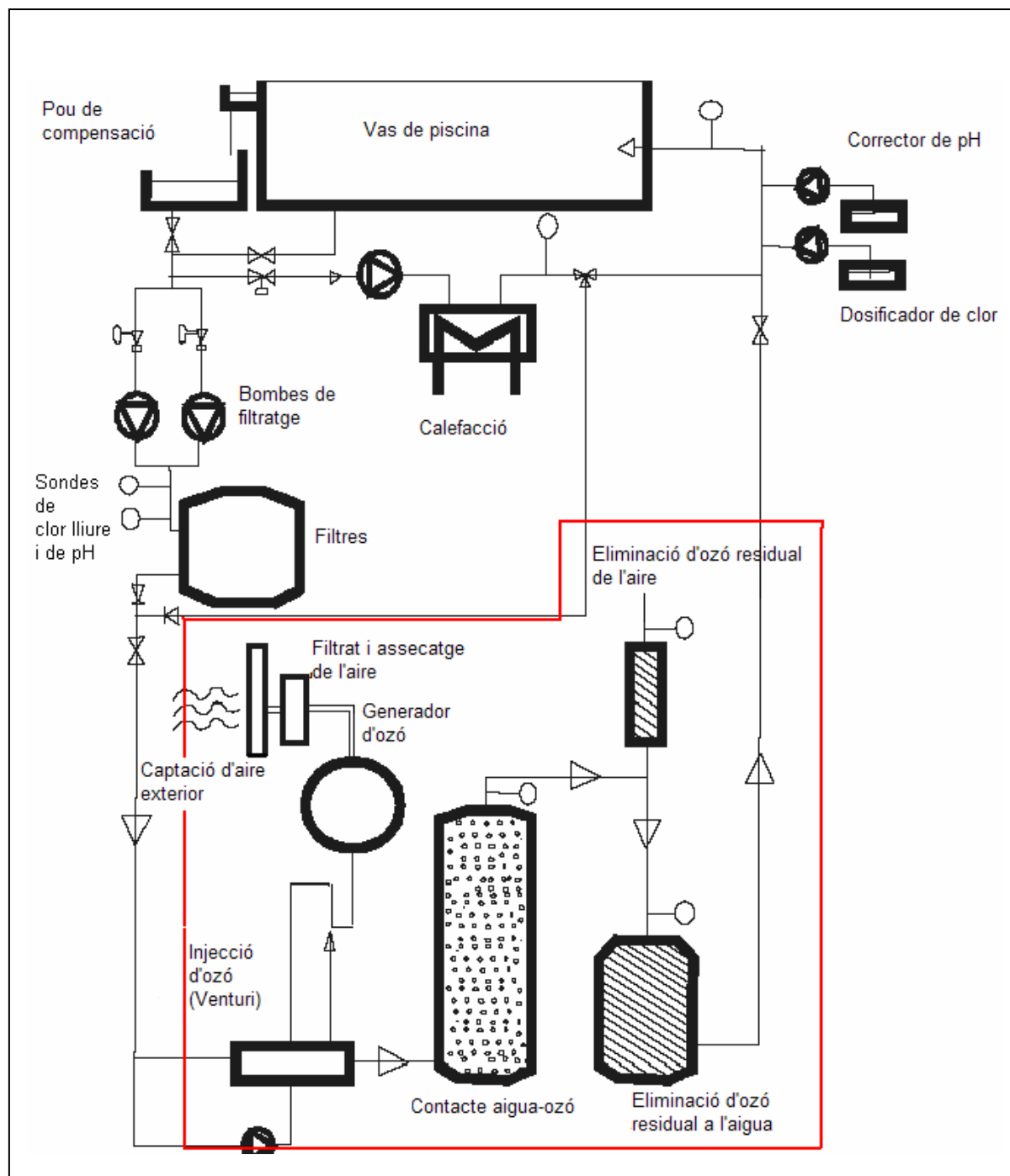
Els sistemes de depuració amb ozó es basen en l'oxidació de matèria orgànica i inorgànica, eliminant d'aquesta manera el color, sabor i olor de l'aigua de piscina degut a la presència d'aquests compostos. Així mateix, també redueix la terbolesa i les demandes química i biològica d'oxigen (DQO i DBO respectivament).

Un tret important de l'ozó és l'eficaç acció bactericida que presenta, eliminant d'una manera ràpida els microorganismes. També presenta una propietat destacada que no presenten els desinfectants convencionals, la inactivació de virus. A més a més, redueix el potencial de formació de DBP clorats com els trihalometans i elimina els seus precursors.

La principal limitació de l'ozó com a desinfectant però, és la seva inestabilitat en l'aigua, no podent-se utilitzar doncs com a desinfectant residual.

2.2.5 Funcionament de la instal·lació

El funcionament d'una instal·lació tipus d'ozonització es pot veure en l'esquema de la pàgina següent. En aquest cas, es troba intercalada en una de convencional:



Il·lustració 3. Esquema d'una instal·lació de tractament de l'aigua amb un sistema d'ozonització. En vermell, la intercal·lació del sistema d'ozonització en la instal·lació convencional. Font: Servei d'Equipaments Esportius del Consell Català de l'Esport "L'ozó en la desinfecció de l'aigua de la piscina", Full tècnic 32, (2003)

Com es pot observar en l'anterior sistema, la primera etapa és igual que en l'esquema de cloració mostrat en la il·lustració 1. En aquest però, s'observa la fase de captació de l'aire exterior i les fases que se li apliquen per a poder aconseguir l'ozó (veure apartat 2.2.3 sobre producció d'ozó). Un cop produït, és necessària la seva injecció en l'aigua recirculada, la qual s'aconsegueix amb un sistema Venturi que xucla l'aire carregat d'ozó del generador. Després, cal que l'aigua romangui en contacte amb una certa concentració d'ozó en un tanc de contacte, dimensionat de tal manera que l'aigua injectada per la part baixa trigui a sortir per dalt el temps de reacció que es determini.

Posteriorment, ja que l'ozó no pot entrar en contacte amb les persones per la seva toxicitat i que la llei regula una concentració de 0 ppm en el vas de piscina, s'inicia l'etapa d'eliminació de l'ozó residual que no s'ha combinat, a partir mètodes com per exemple el de filtres de carbó actiu, rajos ultraviolats o per escalfament. També s'ha de garantir que l'ozó no s'escapi a l'aire en les purgues dels dipòsits.

Per assegurar posteriorment la desinfecció de l'aigua en el vas de piscina i d'acord amb l'article 23.2 del Decret 95/2000 caldrà dissoldre a l'aigua algun producte químic que faci la desinfecció al vas de piscina, com per exemple, el clor o brom (que sí presenten efecte residual). L'avantatge d'aquest sistema és que aquest producte es necessita en menor proporció, ja que amb l'ozonització ja s'ha realitzat la principal desinfecció. Per acabar, s'addicionarà el reductor de pH i la quantitat de desinfectant residual necessari per a garantir la desinfecció al vas de piscina.

Com es pot observar, aquest sistema és capaç d'adaptar-se a una instal·lació convencional ja existent.

2.2.6 Subproductes de l'ozonització

Els DBP de l'ozó es generen degut a la reacció de l'ozó amb compostos inorgànics (principalment bromurs) i orgànics (matèria orgànica natural, principalment substàncies húmiques). A continuació es descriuen breument els principals DBP que es formen amb l'ozonització (informació extreta de Ventura, F., Cancho, B. "Compostos orgànics generats en la desinfecció d'aigües potables". *Societat Catalana de Química*. 39-48, (2005)) :

Aldehids

Els compostos majoritaris són el formaldehid i l'acetaldehid, així com els dialdehids glioxal i metilglioxal. La matèria orgànica precursora són principalment les substàncies húmiques.

Cetoàcids

Presenten una concentració mitjana de cinc a deu vegades superior als aldehids i cal destacar l'àcid pirúvic i l'àcid cetomalònic com a més representatius.

Àcids carboxílics

El compost majoritari és l'oxàlic i en una proporció més baixa l'àcid fòrmic i acètic. Els principals precursors de la formació d'àcids carboxílics són la matèria orgànica natural i l'oxidació d'aldehids.

Bromats

Són el grup més preocupant de la formació de DBP en l'ozonització degut al seu poder carcinogen¹ i es formen a partir de la presència de bromurs en l'aigua. La formació de bromats i àcid hipobromós donarà lloc a la formació de bromoform. Amb tot però, es poden controlar amb el nivell de dosificació de l'ozó (Gomà, A., Qunitana, J., Soler, J., 2005).

¹ Que pot provocar el desenvolupament d'un càncer

Resumint, aquests subproductes resulten ser molt més inerts que la majoria de DBP formats amb altres desinfectants. A més a més, l'aplicació d'un agent desinfectant residual a l'aigua garantirà la seva innocuïtat. La quantitat d'aquests subproductes dependrà bàsicament de la dosi d'ozó afegida i de les característiques de l'aigua com la naturalesa i concentració de la matèria orgànica, el pH, l'alcalinitat i la presència de bromurs (Rodríguez Vidal, F. J. 2003). Tots aquests DBP també presenten una certa volatilitat.

Pel que fa a la normativa en quant a concentració d'aquests DBP en aigües de piscina i al igual que els DBP clorats, cap d'ells es troba regulat per la legislació vigent.

2.3 Avantatges i inconvenients de l'ozó respecte el clor

A continuació es resumeixen els principals avantatges i desavantatges que presenta la utilització de l'ozó enfront de l'ús de compostos de clor.

2.3.1 Avantatges

A partir de la taula 2 s'observa com l'ozó presenta un potencial estàndard d'oxidació-reducció 1,5 cops més elevat que el clor, obtenint doncs una capacitat per a oxidar les substàncies molt superior.

	Potencial redox
$\text{O}_3(\text{g}) + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	+ 2,07 V
$\text{Cl}_2(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+ 1,39 V

Taula 2. Potencials d'oxidació-reducció de l'ozó (O_3) i del clor (Cl_2). Font: Elaboració pròpia.

Pel que fa a l'efectivitat de desinfecció s'utilitza el paràmetre C·t (C: concentració de desinfectant, t: temps necessari per assolir un nivell determinat d'inactivació del microorganisme en unes condicions determinades). En la taula 3 pot observar-se com l'ozó supera l'efectivitat del clor ja que per a inactivar la mateixa quantitat de microorganismes requereix una concentració inferior:

Microorganisme	Desinfectant	
	Clor lliure	Ozó
E.Coli	0,034-0,05	0,02
Polio 1	1,1-2,5	0,1-0,2
Rotavirus	0,01-0,05	0,006-0,060

Taula 3. Valors de C·t (mg·min/L) per a un 99% inactivació dels microorganismes a 5°C i pH=6-7. Font: Rodríguez Vidal, F.J., 2003

Pel que fa a les qualitats organolèptiques de l'aigua, relacionades amb el confort dels usuaris, l'ozó evita l'acumulació de productes causants d'olors, a diferència del clor, el qual amb la formació de cloramines i altres subproductes l'afavoreix. Així mateix, augmenta la transparència de l'aigua (disminueix la terbolesa) i desapareix la irritació d'ulls i mucoses causada per la capacitat irritant que provoquen els productes clorats. D'aquesta manera, s'aconsegueix una aigua més pura, inodora i incolora.

Una de les principals avantatges de l'ozonització per a la salut és que no genera DBP clorats com els THM, és més, elimina els seus precursors. A més a més, tot i també generar l'ozó subproductes de desinfecció, a diferència de la cloració i en un balanç global, són molt més inerts que els generats amb la cloració. Resultats d'alguns estudis sobre DBP en piscines clorades i ozonitzades indiquen que l'ozonització frena l'acumulació de molts dels DBPs formats amb la cloració (Gomà, A., Qunitana, J., Soler, J., 2005).

Una altre avantatge és l'oxigenació que aporta tant a l'aigua com a l'aire, benefici que s'ha demostrat en el rendiment esportiu. L'oxigenació consisteix en l'augment de la concentració d'oxigen en el medi. El fet d'augmentar l'oxigen en l'aire situat per sobre de la superfície del vas de piscina fa que el tractament amb ozó sigui aconsellable en la natació d'alta competició, ja que resultats d'estudis mostren una millora tant de les marques, com del rendiment, com de la salut dels nedadors. Com a curiositat, cal esmentar que aquesta millora es va demostrar en els Campionats del Món de Natació a Barcelona l'any 2003, en que la piscina instal·lada en el Palau Sant Jordi va ser desinfectada amb ozó.

Pel que fa al temps de contacte necessari per a l'oxidació i la desinfecció de l'aigua són normalment menors per a l'ozó que per al clor. A més a més, l'ozó és poc susceptible a variacions de pH i temperatura, a diferència dels compostos de clor, com s'ha mostrat en la gràfica 1.

Un altre aspecte molt important a considerar és la reducció de l'impacte ambiental, que es veu reduït amb la disminució de l'aportació de clor a la piscina, disminuint així la quantitat de clor alliberada tant al medi fluvial com a l'atmosfera. A més a més, si s'aconsegueix disminuir la renovació de l'aigua diària de la piscina, comportarà un estalvi d'aigua, aspecte a destacar ja que actualment l'aigua apta per al consum humà és cada cop més escassa. El fet de generar-se in situ també evitarà els accidents causats pel transport de substàncies perilloses.

Pel que fa a la conservació de l'edifici, el fet de disminuir el nivell de clor en l'ambient de la piscina redueix el caràcter oxidant de l'aire i evita als materials la seva degradació, augmentant doncs la vida dels mateixos.

Cal afegir que, en cas d'accident, l'ozó pot ser detectat per l'ésser humà molt abans de que arribi al nivell considerat com a tòxic.

2.3.2 Inconvenients

La principal limitació de l'ozó com a desinfectant és la gran inestabilitat que presenta en aigua, no podent-se utilitzar doncs com a desinfectant residual i necessitant un altre agent que faci aquesta funció dins el vas de piscina. A diferència d'aquest, el clor presenta una estabilitat suficient per desinfectar l'aigua i permetre un efecte residual.

Amb l'ozó, tot i frenar l'acumulació dels DBP clorats i eliminar els seus precursors, cal tenir molt en compte la formació de bromats en la depuració de l'aigua. Resultats d'un estudi mostren com, mantenint una dosi determinada d'ozó, al llarg dels dies augmenta la concentració de bromats en tant que redueix la dels THM (Gomà, A., Qunitana, J., Soler, J., 2005).

Un altre inconvenient resulta en l'increment de la despesa energètica, ja que la seva instal·lació requereix un cert augment de la potència elèctrica necessària (al voltant de 20 kW).

Així mateix, la seva instal·lació exigeix d'una major qualitat en els materials que entren en contacte amb l'ozó.

També s'ha de tenir en compte la sofisticació de la maquinària i el requeriment d'un sistema informatitzat que comandi la instal·lació per a que tot el sistema funcioni correctament. Per tant, per a que el procés d'ozonització sigui fiable cal una alta tecnologia amb equips de medició i control. Tot això fa que el manteniment es dificulti i requereixi personal més especialitzat.

No s'ha d'oblidar el principal inconvenient d'una instal·lació d'ozonització, el seu elevat cost, superior en 6 vegades al d'un sistema convencional. Tot i ser el cost d'exploació menor que amb clor, el seu període d'amortització no sembla que

justifiqui la seva implantació. No obstant, un aspecte important que sorgeix de forma indirecta és l'augment d'usuaris que pot comportar la millora de la qualitat de l'aigua, sobretot en aspectes organolèptics. Aquest fet és valorat molt positivament, el qual contribuirà, en part, en l'amortització del cost de la instal·lació. Així doncs, aquest aspecte s'hauria d'incloure com a un avantatge més de l'apartat anterior.

3. PROBLEMÀTICA ASSOCIADA A LES TÈCNIQUES DE DESINFECCIÓ

3. PROBLEMÀTICA ASSOCIADA A LES TÈCNIQUES DE DESINFECCIÓ

Els desinfectants utilitzats en les piscines per a la desinfecció de l'aigua poden afectar als usuaris i treballadors de piscines, als materials i al medi ambient. En aquest capítol es resumeixen els principals efectes negatius de les dues tècniques de desinfecció tractades, on ja s'avança que la majoria esdevenen dels tractaments amb clor.

Cal esmentar abans que la problemàtica pot ser diferent si es diferencia entre piscines exteriors i cobertes. En aquest cas i donades les característiques de la piscina que serà objecte d'estudi (piscines del SAF) es posarà més èmfasi en la problemàtica associada en piscines cobertes.

3.1 Problemes de salut

La incorporació dels contaminants presents en la piscina a l'organisme humà es pot donar per tres vies d'exposició diferents:

- Inhalació; la importància d'aquesta via d'exposició és la inhalació que es produeix de l'aire present just per sobre de la superfície de l'aigua, on es troba la major concentració de contaminants volàtils (cloroform, cloramines, etc.). Els efectes s'incrementen en les piscines cobertes, on s'ha demostrat que l'exposició als contaminants és molt major que en piscines exteriors. Així mateix, la seva incorporació també depèn d'altres factors com la intensitat de l'exercici físic que es realitza i el temps d'exposició, així com el pes i edat de l'usuari i la concentració dels contaminants volàtils en l'aire.

- Absorció dèrmica; la incorporació dels contaminants a l'organisme a partir d'aquesta via d'exposició depèn de, a part de la concentració d'aquests en l'aigua i del temps de l'usuari dins la mateixa, de la superfície de l'organisme i de la permeabilitat de la seva pell.
- Ingestió; la incorporació dels contaminants es dona per ingestió directe de l'aigua. Els efectes per aquesta via dependran de la quantitat d'aigua ingerida així com de la concentració dels contaminants en aigua.

Tot i que els efectes per l'exposició a subproductes de desinfecció en piscines estan poc estudiats epidemiològicament, s'han realitzat diversos estudis experimentals en nedadors que demostren la seva incorporació i els seus efectes. Els efectes més estudiats fins ara són a nivell de salut respiratòria i d'al·lèrgies causats pels tractaments amb clor.

El clor, i consegüentment els seus derivats i subproductes, és un agent irritant de les mucoses i de l'aparell respiratori. Els primers símptomes d'exposició en piscines són la irritació dels ulls, del nas i de les vies respiratòries podent arribar a provocar tos, i en casos extrems, vòmits i edema pulmonar. En esportistes d'elit, aquestes irritacions poden provocar hiperreactivitat bronquial¹, sobretot pels que pateixen problemes d'asma. El nexa d'unió entre l'asma, la hiperreactivitat bronquial i les concentracions de clor en l'ambient és l'acció irritant que presenta el clor (A.Freixa, X.Guardino, F.Drobnic, 1995).

La prevalença d'asma en nedadors de competició a nivell internacional és elevada (21%) i d'un 36% a un 79% de nedadors de competició tenen hiperreactivitat bronquial (Freixa, A., Guardino, X., Drobnic, F., 1995).

¹ Tendència dels bronquis a respondre més fàcilment davant d'un estímul extern mitjançant una broncoconstricció.

Aquests efectes es presenten principalment en nedadors d'elit per tres motius diferents; la concentració de clor en l'ambient de la piscina, les hores que hi romanen i la realització d'un exercici físic en el qual utilitza, en períodes curts, el màxim de la seva capacitat toràcica. Els principals afectats són els esportistes d'elit, socorristes, personal de manteniment i nens, que per tenir poc pes, inhalen més aire per unitat de massa que els adults.

Els efectes irritants que es produeixen són atribuïts principalment a les cloramines (clor combinat), les quals entren en contacte amb l'organisme per l'aigua o per l'aire proper a la superfície d'aquesta. Les di i tricloramines són les principals responsables dels efectes irritants als ulls (causant conjuntivitis i el típic "ulls vermells"), al nas, a la gola i al tracte respiratori.

Els subproductes de desinfecció clorats descrits en l'apartat 2.1.2 són molt tòxics en concentracions elevades, fins i tot alguns, estan catalogats com a possibles cancerígens, com per exemple, els trihalometans, en el que destaca el cloroform en aire. Els THM són els més estudiats, ja que és el grup majoritari en piscines i es pot incorporar a l'organisme a partir de les tres vies d'exposició. Alguns estudis han associat els THM amb el càncer de bufeta i defectes de naixement en nou nats de mares exposades. Estudis experimentals realitzats a nedadors mostren que la incorporació en humans es realitza principalment a través de la inhalació i absorció dèrmica, i els nivells incorporats depenen del seu nivell en aigua i aire, del nombre de persones en la piscina i de la intensitat física i edat de les mateixes (A. Freixa, X. Guardino, F. Drobnic, 1995). El cloroform és un exemple de DBP altament irritant, el qual es troba en la capa superficial de l'aigua.

A partir de proves de laboratori, s'ha demostrat en animals l'activitat cancerígena, mutàgena i/o teratògena de molts d'aquests DBP. És important remarcar que les dosis amb les que s'ha experimentat en animals són molt més elevades de les que

es poden trobar normalment en piscines, de l'ordre de ppb (ppb: parts per bilió) o, el que és equivalent, de µg/l.

Pel que fa als humans, a continuació es resumeix les avaluacions del potencial carcinogen de la IARC (*Internacional Agency for Research on Cancer*) d'alguns DBP clorats:

Subproducte de desinfecció clorat		Classificació IARC
Trihalometans	Cloroform	2b
	Dibromoclorometà	3
	Bromodiclorometà	2b
	Bromoform	3
Haloacètics	Diclorohaloacetic	2b
	Triclorohaloactètic	3
Haloacetonnitrils		3
Hidrat de cloral		3
Cloramines		3

Taula 4. Classificació dels DBP clorats segons la IARC. Grup 1: carcinogen a humans demostrat, grup 2a; probables carcinògens, grup 2b; possibles carcinògens, grup 3; tot i els indicis de potencial carcinogen no són classificables com a tals per tenir informació no concloent, i grup 4; no carcinògens a humans. Font: www.iarc.fr

En quant a l'ozonització, tot i no donar-se el problema en el vas de piscina ja que l'ozó no entra en contacte amb els usuaris dins l'aigua, el perill es podria produir amb una fuga del mateix gas, afectant a tot aquell personal que l'inhalés donades les seves propietats tòxiques. Tot i això, cal remarcar que la percepció olfactiva de l'ozó, a una concentració d'uns 10 mg/m³, està molt per sota del valor considerat com a tòxic.

En quant als DBPs resultat de l'ozonització el principal inconvenient, com s'ha esmentat més amunt, és l'aparició de bromats, dels quals el bromat potàssic està catalogat com a 2b en la classificació IARC. Pel que fa als demés subproductes (aldehids, cetoàcids i àcids carboxílics) tot i no trobar-se catalogats per la IARC com a cancerígens i ser més inerts que els de la cloració, alguns presenten propietats tòxiques.

Un altre aspecte molt important té a veure amb les piscines que utilitzen hipoclorit sòdic, el qual degut errors de manipulació o una mescla accidental amb l'àcid clorhídric, pot provocar núvols de gas clor molt tòxics podent arribar al vas de piscina i donar lloc a importants irritacions respiratòries. En l'Annex 2 poden observar-se diferents articles relacionats amb aquest problema. A més a més, si per error es produeix una addició excessiva d'àcid clorhídric en l'aigua del vas de piscina el pH arribarà a uns valors tant baixos que, a part de causar problemes des salut als banyistes, es formarà gas Cl_2 en el mateix vas on es troben els usuaris.

3.2 Problemes de manteniment

En aquest apartat es fa referència al material i infraestructura de la piscina, els quals també es poden veure perjudicats pels productes químics de desinfecció, així com als costos de manteniment associats en quant a materials i energia.

Les piscines de Catalunya presenten uns requisits constructius d'ús i manteniment per als quals hi ha una regulació específica, el decret 95/2000 i el decret 165/2001, de modificació de l'anterior.

Donada la humitat constant present en les piscines, així com els compostos químics corrosius i els riscos de condensacions, poden provocar-se oxidacions i deteriorament dels materials. És important doncs que els materials siguin

suficientment permeabilitzats, aïllants i resistents o utilitzar aquells productes que, sempre prioritant la salut humana, els perjudiquin menys.

Així mateix, és necessària una bona ventilació per a mantenir una humitat i temperatura adequada, així com per a renovar un aire contaminat de compostos volàtils. Un cas habitual de disfunció en els tractaments amb clor esdevé d'una cloració excessiva i/o una ventilació insuficient, amb el resultat d'un aire relativament contaminat de clor.

Pel que fa al disseny de les piscines, es poden donar diversos problemes, com per exemple, la presència d'un fals sostre en les piscines cobertes, el qual donades les condicions anteriors de l'ambient, pot acabar desprenent-se ja que els compostos químics corrosius derivats de la desinfecció oxiden l'estructura de subjecció. És important que, per a evitar els danys del deteriorament dels materials, es realitzin auditories de l'estat de conservació dels diferents elements que conformen la piscina.

El fet de mantenir unes condicions adequades tant per a la confortabilitat i salut dels usuaris com de la qualitat del material, va lligat tant a nivell econòmic com de consum energètic. Així doncs, per a garantir una menor oxidació dels materials, per aconseguir una menor ventilació i per tant una disminució del cost en climatització i del consum energètic, és necessari invertir en tècniques alternatives a aquelles que utilitzen productes tant corrosius com el clor, el qual implica costos considerables econòmicament.

A més a més, cal tenir present que el manteniment i la gestió del funcionament de la piscina implica l'ús, el control i la revisió d'una sèrie d'equipaments i instal·lacions, però al mateix temps la manipulació d'un grup heterogeni de productes químics. Això significa que els encarregats d'aquesta tasca han d'haver

rebut la informació i formació necessària (P.Aulèstia, A.Coromines, A.Freixa, et al., 2005).

3.3 Problemes de confortabilitat

Les instal·lacions de les piscines cobertes han de garantir les condicions de confort que permetin desenvolupar la pràctica esportiva procurant alhora racionalitzar l'ús dels recursos energètics.

Es pot definir el confort com l'absència de tot allò que pot constituir una molèstia o una incomoditat material per a l'individu. La gran part dels costos dedicats a la piscina intenten satisfer aquest confort, però donat que la sensació de confort és subjectiva fa que la confortabilitat absoluta, és a dir, per a tots els usuaris presents en la piscina, sigui impossible d'aconseguir. Així doncs, la legislació recomana uns valors els quals intenten minimitzar el consum energètic.

Pel que fa al confort tèrmic, les queixes dels usuaris es presenten per una sensació inadequada de la temperatura de l'aigua. El decret 95/2000 a Catalunya estableix les següents condicions tèrmiques per a piscines cobertes:

Temperatura aigua	de 24 a 30°C
Temperatura aire	de 2 a 4°C superior a la de l'aigua
Humitat relativa	del 60 al 70%

Taula 5. Condicions tèrmiques de l'aire i de l'aigua d'una piscina coberta segons la legislació vigent. Font: Real Decret 95/2000.

Des del punt de vista de consum energètic, es recomanen uns altres valors:

Temperatura aigua	de 25 a 26 °C
Temperatura aire	de 27 a 29 °C
Humitat relativa	del 65 al 70 %

Taula 6. Condicions tèrmiques de l'aire i aigua d'una piscina coberta recomanades per a l'estalvi energètic. Font: Informe de l'Institut Català de l'Energia, "Optimització energètica en les instal·lacions de piscines".

Donat que l'equilibri tèrmic d'un banyista varia en funció de l'activitat que realitza així com de l'edat del mateix, tot i que no s'entrarà en detall, es recomanen també altres valors de temperatura en el vas de piscina en funció de l'activitat que s'estigui duent a terme i del tipus d'usuari (adult, nen, disminuït físic, etc.).

La confortabilitat dels usuaris està altament lligada a la qualitat organolèptica de l'aigua i a l'ambient de la piscina. Així doncs, moltes de les queixes que s'observen en les piscines són degudes a l'olor de l'ambient i al mal gust de l'aigua, així com per les irritacions als ulls i mucoses. Les cloramines i els clorofenols són els principals causants d'aquestes incomoditats. A més a més, si es tracta l'aigua amb hipoclorit sòdic, li fa adquirir un tacte "sabonós".

Un altre fet que pot comportar el desconfort de l'usuari és la contaminació acústica, la qual es produeix sobretot en les piscines cobertes que no presenten materials prou absorbents acústics. La presència d'una gran superfície d'una làmina d'aigua i gran superfície de parets envidriades, fa que l'activitat sonora que es genera s'atenuï molt poc.

En la confortabilitat dels usuaris també hi juga un paper molt important la qualitat de l'aire i la ventilació del mateix. Així, les principals fonts que causen molèsties són els bioefluents (olors causats per la respiració i transpiració humana), una mala ventilació de l'aire i els organoclorats producte del tractaments amb clor. Pel que fa als bioefluents, hi ha una adaptació ràpida als mateixos (3-6minuts), però

en quan als organoclorats, a part de no haver-hi adaptació, provoca molestes irritacions que augmenten amb el temps d'exposició. La ventilació de l'aire està regulada pel Reglament d' Instal·lacions Tèrmiques (RITE) que fixa un valor en piscines de 2,5 l/s d'aire exterior per cada m² de vas de piscina.

Per acabar amb l'aspecte de confortabilitat, cal tenir en compte també els valors d'il·luminància ja que una il·luminació adequada, tant del vas de piscina com del local, evitarà els enlluernaments per reflexos sobre l'aigua així com una dolenta visibilitat dins l'aigua.

3.4 Problemes mediambientals

La principal problemàtica ambiental esdevé dels tractaments amb clor, ja que, un cop introduïts els compostos de clor a la piscina i juntament amb els compostos orgànics es formen els subproductes clorats, els quals molts acaben incorporant-se al medi ambient, ja sigui al medi fluvial per l'abocament de l'aigua de la piscina al clavegueram o a l'atmosfera si són volàtils.

Molts dels DBP clorats anteriorment descrits, com els policlorometans, les cloramines o el cloroform, a part de ser perjudicials per la salut també provoquen problemes ambientals. La majoria dels compostos orgànics halogenats són poc biodegradables degut a que la presència de l'àtom halogen, en aquest cas el clor, els fa més resistents a la biodegradació proporcionant a la molècula una major estabilitat. Al ser difícils de degradar i relativament volàtils, podran arribar a les capes altes de l'atmosfera, on actuaran com a catalitzadors contribuint en la destrucció de la capa d'ozó. Cal recordar que el clor constitueix el principal destructor de la mateixa, es calcula que una àtom de clor que arriba a la ozonosfera és capaç de destruir 100 molècules d'ozó abans de ser inert. A més a més, l'evaporació dels compostos que hagin arribat al medi fluvial també contribuiran en aquesta contaminació.

Per altra banda, el fet d'incorporar-se a la xarxa fluvial implicarà l'augment dels clorurs presents en l'aigua, el que constitueix un problema sobretot en èpoques de sequera ja que no existeix prou aigua per a que puguin dissoldre's fent que els contaminants restin molt concentrats i provocant la salinització dels rius. El ió clorur, que tot i no ser en sí un contaminant, en concentracions elevades, invalida la utilització de l'aigua per a diversos usos. Cal mencionar també la dificultat per a les estacions depuradores d'aigües residuals tractar una aigua amb gran quantitat de clorurs, en que les piscines desinfectades amb clor hi contribueixen, per poca que sigui la seva aportació comparada amb altres abocaments residuals altament clorats que es produeixen al llarg de la conca.

Si es té en compte que en una piscina el nivell de clor combinat és de fins a 0,6 ppm, encara que aquest es dilueixi al abocar-ho a l'aigua no deixa de ser preocupant ja que podria acostar-se a la dosi letal (DL_{50}) d'alguns peixos, i més si l'aigua ja ha estat tractada amb anterioritat i ja conté un cert nivell de cloramines, (Gomà, A., 2005).

Un problema no menys important és que la generació de gas clor (substància de la que es parteix sigui quin sigui finalment el compost de clor escollit) es basa, normalment, en l'electròlisi mitjançant càtode de mercuri, el qual l'ús d'aquest metall afegeix un risc ambiental pel fet de ser tòxic i persistent.

A més a més, el desinfectant més comunament utilitzat, l'hipoclorit sòdic, que es fabrica a base de gas clor, té la desavantatge de que si es fabrica in-situ comporta un risc molt elevat en la piscina i si es transporta fins a la mateixa incrementa el cost ambiental pel fet d'estar transportant material perillós.

Pel que fa al tractament de l'aigua mitjançant ozó, tot i no formar compostos clorats, en presència de bromurs poden formar-se bromats, compostos que

presenten les mateixes característiques que els clorats en quant a que són poc biodegradables i bioacumulables.

Actualment, no existeix cap normativa específica que reguli l'abocament d'aigües de piscina en concret. Existeix normativa en quant a abocaments d'aigües residuals en general, que fixa límits d'algunes substàncies com per exemple el nivell de clorurs, i alguna normativa europea com la Directiva 2000/60/CE de la UE que, amb l'objectiu de protegir el medi ambient, es proposa protegir les aigües superficials continentals reduint la contaminació deguda als abocaments.

4. CAS D'ESTUDI: PISICNES DEL SERVEI D'ACTIVITAT FÍSICA DE LA UAB

4. CAS D'ESTUDI: PISCINES DEL SERVEI D'ACTIVITAT FÍSICA DE LA UAB

4.1 Introducció

Les piscines del Servei d' Activitat Física (SAF) de la Universitat Autònoma de Barcelona van entrar en funcionament l'any 1990. Les dues piscines (il·lustració 4 i 5) resten cobertes i les seves dimensions són de 25 x 16,5 m i 2 m de fondària la piscina gran i de 16,5 x 7 m i 1 m de fondària la petita, essent doncs el volum d'aigua que contenen de 825 m³ i 115 m³ respectivament.



Il·lustració 4. Piscina gran del SAF. Font: Elaboració pròpia



Il·lustració 5. Piscina petita del SAF. Font: Elaboració pròpia

Des de l'entrada en funcionament de les piscines, el sistema de tractament de l'aigua d'ambdues va ser el convencional, utilitzant el tradicional compost clor com a desinfectant (en forma d'hipoclorit sòdic) i l'àcid clorhídric com a reductor del pH, corresponent el funcionament de la instal·lació a l'esquema representat en la il·lustració 1 de l'apartat 2.1.3.

Des de principis de 2002 però, aquestes piscines compten amb un nou mètode de depuració de l'aigua mitjançant ozó, sistema intercalat en la instal·lació convencional existent fins llavors. A més a més, presenta una nova tècnica per a regular el pH la qual, en substitució del àcid clorhídric (HCl), utilitza diòxid de carboni (CO₂).

Posteriorment a explicar en que consisteixen aquestes importants modificacions així com d'altres que s'han anat realitzant al llarg del funcionament de la piscina, es descriurà el procediment realitzat des de finals de març fins a mitjans de juny per aconseguir valors de certs paràmetres que han estat analitzats en diferents condicions de tractament de l'aigua, en les que s'ha variat la tècnica de desinfecció. A continuació, es fa una breu descripció de les instal·lacions de les piscines del SAF.

Breu descripció de les instal·lacions

La instal·lació de les piscines del SAF consta de: dos vasos de piscina, un spa i una sauna situats en un recinte cobert amb sortida a l'exterior; d'una sala de màquines situada a una planta de nivell inferior a la de les piscines; d'una sala de filtratge, la qual es troba per sota del nivell de la sala anterior i on acaben constructivament els vasos; i dels vestidors, situats per sobre del nivell de les piscines dels quals no s'entrarà en detall.

L'espai on es troben les piscines consta de ventilació forçada, amb la qual es garanteix la renovació necessària de l'aire i, de tant en tant, de ventilació natural, ja que disposa d'obertures a l'exterior.

La sala de màquines disposa de dues sortides d'emergència a l'exterior i en el seu interior hi presents el dipòsit d' A.C.S. (Aigua Calenta Sanitària), el sistema de calefacció, la deshumificadora, etc.

En la sala de filtratge, a part d'emmagatzemar els productes necessaris com l'hipoclorit sòdic, es troba la major part de la instal·lació de depuració de l'aigua; el vasos de compensació, els filtres, les bombes, el generador d'ozó, etc. En l'interior també s'hi torba un petit laboratori per a la realització d'anàlisis diverses. La sortida d'emergència a l'exterior de que disposa aquesta sala dona als tancs de contacte aigua - ozó i als tancs de destrucció de l'ozó residual mitjançant filtres de carbó actiu.

4.1.1 Antic sistema de treball i modificacions realitzades al llarg del temps

Des de la seva inauguració (1990) i amb l'objectiu de millorar la confortabilitat dels usuaris així com per a optimitzar les operacions de manteniment, les piscines del SAF han anat incorporant modificacions tant en el seu sistema de desinfecció de l'aigua com de la instal·lació en general.

Des de **1990**, el tractament de l'aigua d'ambdues piscines consistia en l'addició d'hipoclorit sòdic com a desinfectant, el qual s'afegia directament al vas de piscina. Com a reductor de pH s'utilitzava l'àcid clorhídric.

A partir de l'any **1995** però, per a millorar el sistema d'addició del desinfectant, es va incorporar un control automàtic de dosificació del clor a partir del nivell redox de

l'aigua. Amb aquest sistema es reduïa els pics i valls de concentració de clor que es formaven al vas de piscina i conseqüentment els derivats del clor presents en l'ambient.

Donat que amb aquell sistema seguien donant-se pics de clor i per aconseguir una concentració més constant, l'any **1997** es va canviar el sistema de control automàtic. L'addició de clor va passar a controlar-se a partir de mesures automàtiques del clor lliure present en l'aigua de piscina, mitjançant les sondes de clor situades abans de l'entrada de l'aigua als filtres. Aquest sistema és el que s'ha mantingut fins a ara per a la dosificació del clor, sigui quina sigui la tècnica utilitzada per al tractament de l'aigua.



Il·lustració 6. Sonda de clor i de pH de la piscina gran.
Marca un pH de 7,20 i una concentració de clor lliure de 0,89 ppm. Font: Elaboració pròpia

Un altre canvi substancial portat a terme l'any **1999**, ja no tant pel control de l'addició de productes químics sinó pel control de la concentració de contaminants en l'ambient, va ser la remodelació i augment de la ventilació dins la sala de màquines. Aquesta modificació va consistir en l'aïllament de l'aire humit de la zona de filtratge de l'aire de la sala de màquines, de la qual es pren l'aire que s'introdueix a l'espai de la piscina com a aire de renovació. Per a facilitar la

circulació de l'aire dins la sala de màquines també s'hi va fer una obertura de 4 m². Amb aquestes mesures va aconseguir-se una major qualitat de l'aire així com un augment de l'aportació d'aire a la zona de la piscina.

La següent mesura que es va incorporar va ser la de canviar el sistema de desinfecció convencional amb clor per el de l'ozonització, canvi operatiu des de principis del **2002**. Tot i que més endavant s'explica el funcionament exclusiu d'aquesta tècnica en les piscines del SAF així com les condicions d'operació, cal esmentar que el règim de funcionament no ha estat continu des de llavors ja que van anar sorgint dificultats.

En el **2004** es va procedir a perllongar els tubs de desaigüe que porten l'aigua sobrant de la piscina que va a parar al pou de compensació fins sota el nivell de l'aigua del mateix (abans es feia per sobre). D'aquesta manera, s'evita que l'aire (més contaminat ja que es troba confinat en un espai petit) en el pou de compensació no estigui tan directament exposat a l'ambient de piscina. Així doncs, amb aquesta mesura s'aconsegueix un augment de la qualitat de l'aire de l'ambient de la piscina.

Com a últim canvi substancial, a finals del 2004, va substituir-se l'àcid clorhídric utilitzat per a reduir el pH per diòxid de carboni. D'aquesta manera, l'aportació de clor a la piscina es limita a l'hipoclorit sòdic, reduint així la concentració de clor present en la mateixa.

Resumint, des del 2002 les piscines del SAF ja no utilitzen la tècnica de la cloració com a mètode únic de desinfecció, sinó que presenten la innovadora alternativa de l'ozonització combinada amb l'anterior. Aquesta mesura, instal·lació que va ser intercalada en el sistema ja existent, precisa encara però, d'una quantitat d'hipoclorit sòdic per a mantenir la desinfecció en el vas de piscina. Com a corrector del pH s'utilitza CO₂. Tot i aquests canvis, quan el sistema d'ozonització

no és operatiu en alguna de les dos piscines, el clor reprèn automàticament el paper de desinfectant principal.

Condicions d'operació del sistema de tractament mitjançant la cloració

El procés de tractament que rep l'aigua del vas de piscina mitjançant la cloració segueix el mateix principi que el ja explicat en l'apartat 2.1.3. Tractant-se en aquest cas de dues piscines, el procés és simultani per ambdues. Cada piscina disposa de 4 bombes d'impulsió, tot i que la circulació de l'aigua es porta a terme normalment mitjançant una o dues de les bombes. En l'etapa de filtratge, la piscina gran es fa passar per quatre filtres de sorra de sílex i la petita per un. El floculant addicionat és el policlorur d'alumini. Cada piscina disposa de les sondes següents: clor lliure, pH, conductivitat i potencial redox.

La consigna fixada per a que el dispensador de reductor de pH deixi d'addicionar àcid clorhídric és a $\text{pH}=7,2$. Així doncs, el reductor de pH és addicionat constantment a no ser que la sonda de pH mesuri un pH igual o inferior a 7,2. I la consigna fixada per al dispensador d'hipoclorit sòdic és de 0,60 ppm per a la piscina gran i 0,90 ppm per a la petita.



Il·lustració 7. Dispensador d'hipoclorit sòdic de la piscina gran. Font: Elaboració pròpia

Les condicions d'operació quan l'aigua de piscina és tractada mitjançant el mètode convencional es sintetitzen en la taula següent:

	Piscina gran	Piscina petita
Temps de recirculació	4 hores	2 hores
% Renovació diari	1-2 %	5 %
Consum mig NaClO/dia	24 kg	
Consum mig HCl/dia	3 kg	

Taula 7. Condicions d'operació amb cloració. Font: Elaboració pròpia

A continuació s'observen algunes il·lustracions de la instal·lació de depuració de l'aigua del SAF:



Il·lustració 8. Filtres de sorra de sílex. Font: Elaboració pròpia.



Il·lustració 9. Bombes i prefiltres de la piscina gran. Font: Elaboració pròpia.



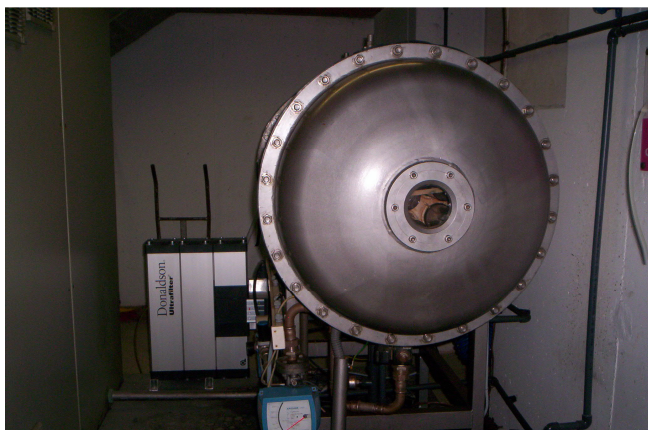
Il·lustració 10. Dispensadors d'àcid clorhídric de la piscina gran.
Font: Elaboració pròpia.

4.1.2 La nova instal·lació de depuració de l'aigua. Descripció del sistema d'ozonització

L'abril de l'any 1999 s'inicien les obres per a la nova instal·lació de tractament d'aigua amb ozó i finalitzen al setembre del mateix any. Però, donades les dificultats que implica la posta en marxa d'una instal·lació com aquesta, tant a nivell hidràulic, com del sistema elèctric i electrònic, no entra realment en funcionament fins aproximadament l'any 2002.

Aquesta nova instal·lació va consistir en la adaptació de la mateixa dins l'antiga instal·lació, entre l'etapa de filtratge (filtres de sorra de sílex) i el dosificador de clor. Cal destacar que el 100% de l'aigua recirculada és tractada amb ozó, a diferència d'altres piscines en les que l'ozonització es porta a terme només d'una forma parcial. L'esquema del principi de tractament de l'aigua correspon al presentat a la il·lustració 3 de l'apartat 2.2.5.

Pel que fa al generador d'ozó, el qual s'observa en la il·lustració 11, és compartit per ambdues piscines i treballa a un voltatge d'uns 15 kV i a una freqüència d'uns 50 Hz. La producció d'ozó és de 300 gr O₃/hora.



Il·lustració 11. Generador d'ozó. Font: Elaboració pròpia

Les torres de contacte (il·lustració 12) es situen a l'exterior. El temps de contacte aigua-ozó és d'uns 4 minuts si treballen dues bombes o de 8 min amb tant sols una de les bombes. La concentració d'ozó que es troba en aquests tancs és d'uns 0,3 ppm ozó per m³ d'aigua.

Per a garantir una concentració d'ozó de 0 ppm a l'aigua i junt a les torres de contacte es situa el sistema de destrucció de l'ozó residual de l'aigua, el qual consisteix en un mètode de filtració per carbó actiu en uns dipòsits de 13 m³. A continuació s'observen els tancs de contacte i els destructors d'ozó residual:



Il·lustració 12. (1) Torre de contacte i (2) filtre de carbó actiu.

Font: Elaboració pròpia.

El desinfectant aportat a l'aigua després de l'ozonització i abans d'entrar al vas de piscina continua sent l'hipoclorit sòdic.

Cal esmentar que tota aquesta instal·lació està dotada d'un sistema de control automàtic. D'aquesta manera, per exemple, en el cas de donar-se una fuga de gas

ozó el detector d'ozó existent en la sala on es situa el generador faria activar una alarma d'avís de la presència d'ozó en l'aire de l'ambient i pararia automàticament del sistema de generació d'ozó. No obstant, inclòs en el cas més desfavorable en que tot l'ozó generat s'expulsés accidentalment a l'aire, difícilment s'arribaria a les concentracions fixades com a perilloses per l'EPA d'1 mg/l.

Les condicions d'operació quan l'aigua de piscina és tractada mitjançant el mètode d'ozonització es sintetitzen en la taula següent:

	Piscina gran	Piscina petita
Temps de recirculació	4 hores	2 hores
% Renovació diari	1-2 %	5 %
Consum mig NaClO/dia	27 kg	
Consum mig CO ₂ /dia	17 kg	

Taula 8. Condicions d'operació amb ozonització. Font: Elaboració pròpia.

Si es compara el consum mig diari d'NaClO anterior amb el que es consumia en el procés de cloració sorprèn el fet que sigui superior. Això és degut a que en l'etapa de destrucció de l'ozó residual el carbó actiu destrueix part del NaClO que s'ha addicionat.

4.1.3 La nova tècnica en la minoració del pH: utilització de CO₂ enfront l'HCl

4.1.3.1 Introducció

Per a neutralitzar la basicitat de l'aigua causada per l'addició de l'hipoclorit sòdic, a finals de l'any 2004, es va substituir l'àcid clorhídric (HCl) per diòxid de carboni (CO₂). L'objectiu d'aquesta mesura es basa en reduir la quantitat de clor aportada a l'aigua i conseqüentment aportar beneficis de caire mediambiental i de salut, així com un augment en la confortabilitat dels usuaris.

L'aspecte més important i beneficis d'aquesta modificació és en termes de seguretat donada l'eliminació dels possibles accidents causats per la formació de gas tòxic clor. El fet de no utilitzar HCl fa desaparèixer el risc de que es produeixi una combinació accidental d'àcid clorhídric i hipoclorit sòdic, els quals formen gas clor. A més a més, sempre és millor treballar amb un àcid feble (àcid carbònic) que amb un àcid fort (àcid clorhídric) ja que en el cas de produir-se un excés accidental de la quantitat de CO₂ dispensada el valor més baix al que arribaria el pH de l'aigua de piscina seria de 5,2, el qual encara és massa alt com per a poder formar-se el gas Cl₂.

A part de la seguretat, hi ha altres aspectes (confortabilitat, salut i mediambientals) que es veuen reduïts:

- Emissions atmosfèriques de compostos de clor (THM).
- Clorurs que arriben al medi fluvial.
- Irritacions respiratòries i de mucoses causades pels DBPs clorats.

Com a aspecte de caire mediambiental és interessant esmentar que, en funció del seu origen i d'acord amb el Protocol del Kioto de reduir les emissions

atmosfèriques de CO_2 , la utilització del mateix en aigües de piscina pot ajudar a contribuir en la fixació de CO_2 .

La manera en que l'addició de CO_2 fa disminuir el pH ja ha estat explicada en el capítol 3. En la il·lustració 13 pot observar-se el sistema de dispensació del CO_2 existent en la sala de filtració:



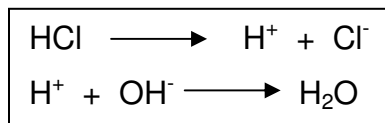
Il·lustració 13. Dispensadors de CO_2 d'ambdues piscines. Font: Elaboració pròpia

En aquest cas, la consigna fixada per a que el dispensador de reductor de pH deixi d'addicionar CO_2 és també a $\text{pH}=7,2$, igual que amb l'àcid clorhídric.

4.1.3.2 Estudi del problema del sobreconsum

Des de la posada en marxa del canvi d' HCl a CO_2 i amb les condicions de treball del SAF, el consum de CO_2 ha estat superior que el consum d' HCl . Si el consum mig d' HCl era d'uns 2 o 3 kg al dia per ambdues piscines, actualment el consum mig diari de CO_2 és de 17 kg, quantitat que es considera exagerada ja que el consum teòric o esperat hauria de ser inferior. Això és justificable ja que, tenint en compte l'estequiometria dels quadres 9 i 10 i que el pes molecular del CO_2 és de 44 g (tan sols un 20 % més alt que el pes molecular de l' HCl (36,5 g)), el consum

hauria de ser per tant de l'ordre d'un 20 % superior al que es feia amb HCl. Així doncs, el consum hauria de ser, en el pitjor cas, de 3,6 kg. Tenint en compte però que el CO₂ pot escapar-se a l'atmosfera es podria esperar que el consum fos d'aproximadament 4 o 5 kg.



Quadre 9



Quadre 10

L'estequiometria d'aquestes reaccions reflexen que, tant per a l'HCl com per al CO₂, per a obtenir 1 mol de H⁺ (el qual neutralitza els ions OH⁻) es necessita 1 mol de qualsevol de les dues espècies i, per tant, la relació és 1:1.

Donat que es considera excessiva la quantitat de CO₂ dispensada a l'aigua és necessari saber quina concentració hi ha de les espècies del sistema de carbonats a l'aigua de piscina la qual ens permeti veure en quina forma es troba tot el CO₂ o si s'està alliberant molta quantitat a l'aire.

Fins al moment, la quantitat que s'afegeix de CO₂ a l'aigua es fa en funció del pH que marca la sonda, sensor que dona una resposta lenta als canvis de pH de la massa global de l'aigua de la piscina. També haurà de controlar-se si el valor de pH que marca la sonda es correspon amb el pH que hauria de tenir la piscina donades les concentracions de HCO₃⁻ i H₂CO₃ que es trobin a l'aigua.

Per tant, sembla ser que per a tenir un bon rendiment no és suficient controlar el pH de l'aigua, aquest estudi pretén conèixer les espècies de HCO₃⁻ i H₂CO₃ que

normalment hi ha presents al pH habitual de la piscina, tant quan s'utilitza HCl com CO_2 . Per a poder determinar-les s'ha realitzat dues valoracions, una a pH=8,3 per a determinar l' H_2CO_3 i una a pH=4 per a determinar el HCO_3^- .

Així doncs, els paràmetres d'interès per aconseguir l'objectiu plantejat són el pH i la concentració d' H_2CO_3 i HCO_3^- que hi ha en l'aigua del vas de piscina.

4.2 Objectius de l'estudi

Els objectius del present estudi han estat els següents:

- Esbrinar si existeixen diferències significatives dels paràmetres de control analitzats (pH, temperatura, oxigen dissolt, clor, conductivitat, potencial redox, àcid carbònic i bicarbonat) en funció del tractament químic utilitzat.
- Analitzar l'efectivitat de l'ozonització en quant a subproductes de desinfecció clorats.
- Optimitzar la quantitat de CO_2 que es dispensa a l'aigua per a reduir el pH causat per l'hipoclorit sòdic.

4.3 Metodologia

L'estudi s'ha dividit en tres etapes temporals en funció del desinfectant i reductor de pH aplicats a l'aigua de les piscines, de la que s'han realitzat diverses determinacions analítiques. Aquests períodes, durant la primavera del 2006, són els següents:

	Període 1	Període 2	Període 3
Dates	27 març - 25 abril	26 abril - 18 maig	19 maig - 16 juny
Desinfectant	Hipoclorit sòdic (NaClO)	Ozó (O ₃)	Hipoclorit sòdic (NaClO)
Reductor de pH	Diòxid de carboni (CO ₂)	Diòxid de carboni (CO ₂)	Àcid clorhídric (HCl)

Taula 9. Períodes de realització de les anàlisis i productes utilitzats en la depuració de l'aigua de les piscines. Font: Elaboració pròpia.

Cal esmentar que en el “Període 2”, a part d'utilitzar l'ozó com a desinfectant i com ja s'ha esmentat més amunt, també s'ha afegit hipoclorit sòdic per a mantenir la desinfecció residual en el vas de piscina. Però, per a fer-ho més entenedor, s'ha obviat l'hipoclorit, tot i que sí s'ha tingut en compte alhora d'analitzar el resultat.

Les determinacions analítiques han estat diàries i s'han portat a terme en el laboratori situat dins el mateix recinte del SAF, a la sala de filtratge situada sota el vasos de piscina. Totes les mesures s'han portat a terme de dilluns a divendres entre les 16h i les 18h de la tarda.

Paràmetres analitzats:

El conjunt de paràmetres analitzats per a cadascun dels períodes i per ambdues piscines s'enumeren a continuació:

- 1) pH
- 2) Oxigen dissolt
- 3) Conductivitat
- 4) Potencial redox
- 5) Clor lliure, clor combinat i clor total

- 6) Àcid carbònic i Bicarbonat
- 7) Trihalometans en aigua (*)
- 8) Cloroform en aire (*)

(*) Aquests dos últims paràmetres han estat analitzats pel Servei d'Anàlisi Química (SAQ) de la UAB.

En l'Annex 3 s'exposen els principals paràmetres de control de les aigües de piscina i es descriuen breument els que presenten un interès especial per el present estudi, concretament els 5 primers paràmetres enumerats anteriorment. Així mateix, també s'indica els valors que estableix la normativa.

Cal afegir que, diàriament i paral·lelament a les determinacions analítiques realitzades, s'ha anotat els valors de pH i clor lliure que marquen les sondes tant de la piscina gran com de la petita. A més a més, també es disposa d'altres valors, els quals han estat disponibles a través del SAF i que s'emmarquen en la taula 10. Tots els valors disponibles i observables en la taula són puntuals i corresponen a les 8h del matí i a les 15h de la tarda.

	Clor		pH		P. redox	Conductivitat
	Sonda	Personal m ¹ (fotòmetre)	Sonda	Personal m (fotòmetre)	Sonda	Sonda
Piscina gran		x		x		
Piscina petita	x	x	X	x	X	x

Taula 10. Informació addicional de la que s'ha disposat alhora d'analitzar els resultats. Font: Elaboració pròpia

¹ Personal de manteniment

Aquest conjunt addicional de dades permetrà obtenir un anàlisi més exhaustiu i complert i només es farà referència a elles en el cas que es consideri interessant i oportú.

4.3.2 Metodologia analítica

Presa de mostres i transport

Les mostres s'han pres directament del vas de piscina, de la superfície de l'aigua i sempre en el mateix punt, amb un pot de vidre diferent per a cadascuna. Un cop presa la mostra, s'ha analitzat tot seguit al laboratori, a tant sols uns metres de les piscines.



Il·lustració 14. Laboratori utilitzat durant les anàlisis.

Font: Elaboració pròpia

Determinació de l'oxigen dissolt

L'oxigen dissolt s'ha determinat mitjançant un oxímetre portàtil, concretament un OXI45 de la marca CRISON, el qual consta d'un sensor d'oxigen amb elèctrode de membrana. L'O₂ de la mostra es difon per aquesta membrana permeable i reacciona en el càtode generant una corrent proporcional a la concentració d'oxigen dissolt. L'equip transforma aquesta corrent en percentatge de saturació o

en concentració d'oxigen (mg/l). Cal afegir que aquest aparell també mesura la temperatura de la mostra i que corregeix els efectes que poden tenir la pressió atmosfèrica i la salinitat sobre la mesura.

Un cop decantada una petita quantitat de mostra a un petit vas de plàstic s'introduïa el sensor dins el mateix. Per a cada mesura s'esperava pocs segons fins que el valor d'oxigen dissolt que mostrava la pantalla de l'equip s'estabilitzés. Totes les dades obtingudes es van mesurar en concentració (mg/l) i la temperatura, en graus centígrads (°C).



Il·lustració 15. Oxímetre portàtil utilitzat. Font: Elaboració pròpia.



Il·lustració 16. Sensor d'oxigen. Font: Elaboració pròpia.

Determinació de la conductivitat

La conductivitat s'ha determinat mitjançant un conductímetre portàtil, concretament un CM35 de la marca CRISON. Aquest, el qual consta d'una cèl·lula de conductivitat formada per dos elèctrodes metàl·lics i d'una sonda de temperatura, aplica una camp elèctric entre els dos elèctrodes i mesura la resistència elèctrica de la dissolució. El voltatge detectat és proporcional a la conductivitat. Les unitats de mesura són S/m (Siemens/metre).

Alhora de realitzar la mesura s'ha operat igual que amb el oxímetre, decantant la mostra en un vas petit de plàstic i incorporant el sensor dins el mateix.

Passat uns segons i el valor estabilitzat es prenia nota tant del valor de conductivitat, en $\mu\text{S/cm}$, com de la temperatura, en $^{\circ}\text{C}$.



II·lustració 17. Conductímetre portàtil utilitzat.

Font: Elaboració pròpia



I·lustració 18. Sensor de conductivitat. Font: Elaboració pròpia

Determinació del clor lliure i clor total

Per a la seva determinació s'ha utilitzat un colorímetre portàtil, fotòmetre dissenyat per a la medició colorimètrica de longituds d'ona simples, que serveix per a mesurar el clor lliure o clor total depenent del reactiu indicador que s'utilitzi. Aquest mètode, anomenat “mètode del DPD” i essent mètode oficial, es basa en la formació de complexos colorejats entre el clor present en la mostra i els reactius de DPD (N,N'-dietil-para-fenilendiamina). Aquesta coloració és proporcional a la concentració de clor. Els valors que dona l'aparell estan expressats en unitats de concentració, ppm (o mg/l), i el rang de mesura és de 0-2 ppm.

Per a la determinació del **clor lliure** s'ha seguit el següent procediment::

S'ha omplert una cubeta amb 10 ml de mostra sense tractar i s'ha fet el blanc, introduint-la en el colorímetre i ajustant-lo a zero. Després s'ha retirat aquesta cubeta, s'ha netejat i s'ha tornat a omplir de mostra. Ara però, s'ha afegit el reactiu per al clor lliure (DPD N°1 en forma de pastilla) i s'ha triturat fins a la seva dissolució, adquirint la mostra un color rosat. Passats uns segons s'ha realitzat la determinació en el colorímetre. Tot seguit es passa a analitzar el clor total.

Per a la determinació del **clor total** s'ha seguit el següent procediment::

Un cop retirada del colorímetre la cubeta anterior, s'ha afegit el reactiu per a la determinació del color total (DPD N°3 en forma de pastilla) i s'ha triturat fins a la seva dissolució. Abans de mesurar en el colorímetre s'ha esperat uns 2 minuts fins a completar-se la reacció que hi té lloc, tot adquirint la mostra un color rosat fort. Seguidament, s'ha realitzat la seva determinació. El resultat de restar el valor del clor lliure al clor total és el clor combinat.

Cal esmentar que per assolir millors resultats, per a cada una de les determinacions es va realitzar tres cops la lectura i va fer-se una mitjana.



II-lustració 19. Colorímetre portàtil utilitzat. Font: Elaboració pròpia

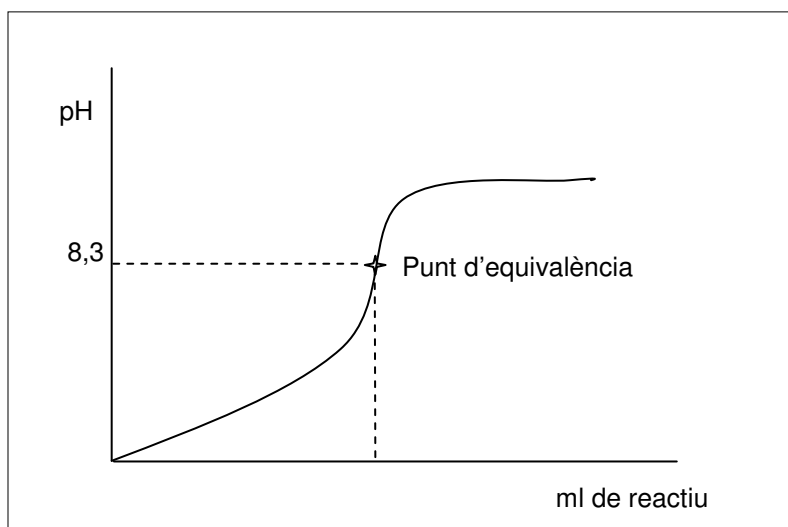


II-lustració 20. Dissolució rosada obtinguda en una de les determinacions de clor portades a terme al laboratori. Al costat, les pastilles DPD 1 i DPD 3 utilitzades en la mesura. Font: Elaboració pròpia

Determinació de l'àcid carbònic (H_2CO_3) i bicarbonats (HCO_3^-)

Per a determinar la quantitat d' H_2CO_3 i de HCO_3^- presents en l'aigua de piscina s'han portat a terme dues valoracions potenciomètriques àcid-base, una a pH 4 i l'altre a pH 8,3. Les valoracions han estat automàtiques gràcies a que s'ha pogut disposar d'un valorador automàtic, concretament un CRISON Titrator.

Es tracta de determinar la quantitat de la substància en qüestió a partir de la seva reacció amb una altra substància coneguda, el reactiu valorant. Quan s'arribi al punt d'equivalència tota la substància haurà reaccionat amb el reactiu. Així doncs, i coneguda l'estequiometria de la reacció, es podrà saber la concentració de la substància en qüestió, proporcional a la del reactiu valorant.



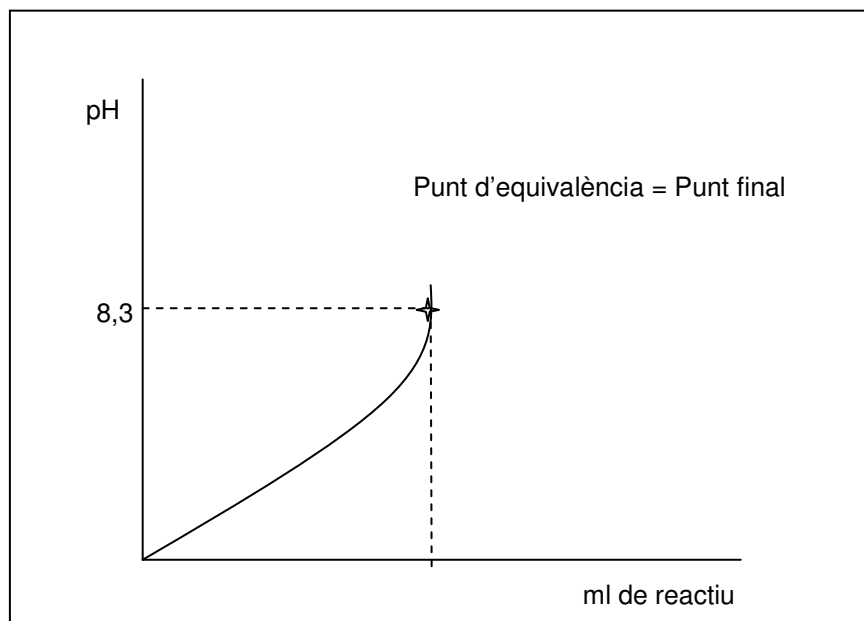
Gràfica 3. Representació gràfica típica d'una valoració àcid-base.

Font: Elaboració pròpia

Funcionament del valorador automàtic. Mètode del punt final.

Aquest valorador consta de 2 buretes (xeringues) de 10 ml, 4 bombes peristàltiques i pot mesurar en potencial (mV) o en pH en funció del elèctrode que se li connecti (elèctrode redox o elèctrode de pH). Primerament i mitjançant una de les bombes, l'aparell aspira la mostra i l'addiciona a un vas petit de precipitats buit i net. Tot seguit, una de les xeringues plena del reactiu aspirat amb anterioritat, comença a addicionar-hi de forma continua el reactiu fins que l'elèctrode de pH detecta el valor de pH conegut i seleccionat prèviament (punt final). Al inici de la valoració hi ha una addició inicial ràpida i quan l'aparell detecta que s'aproxima al punt final disminueix la quantitat de reactiu afegida (de l'ordre de μl). Cal esmentar,

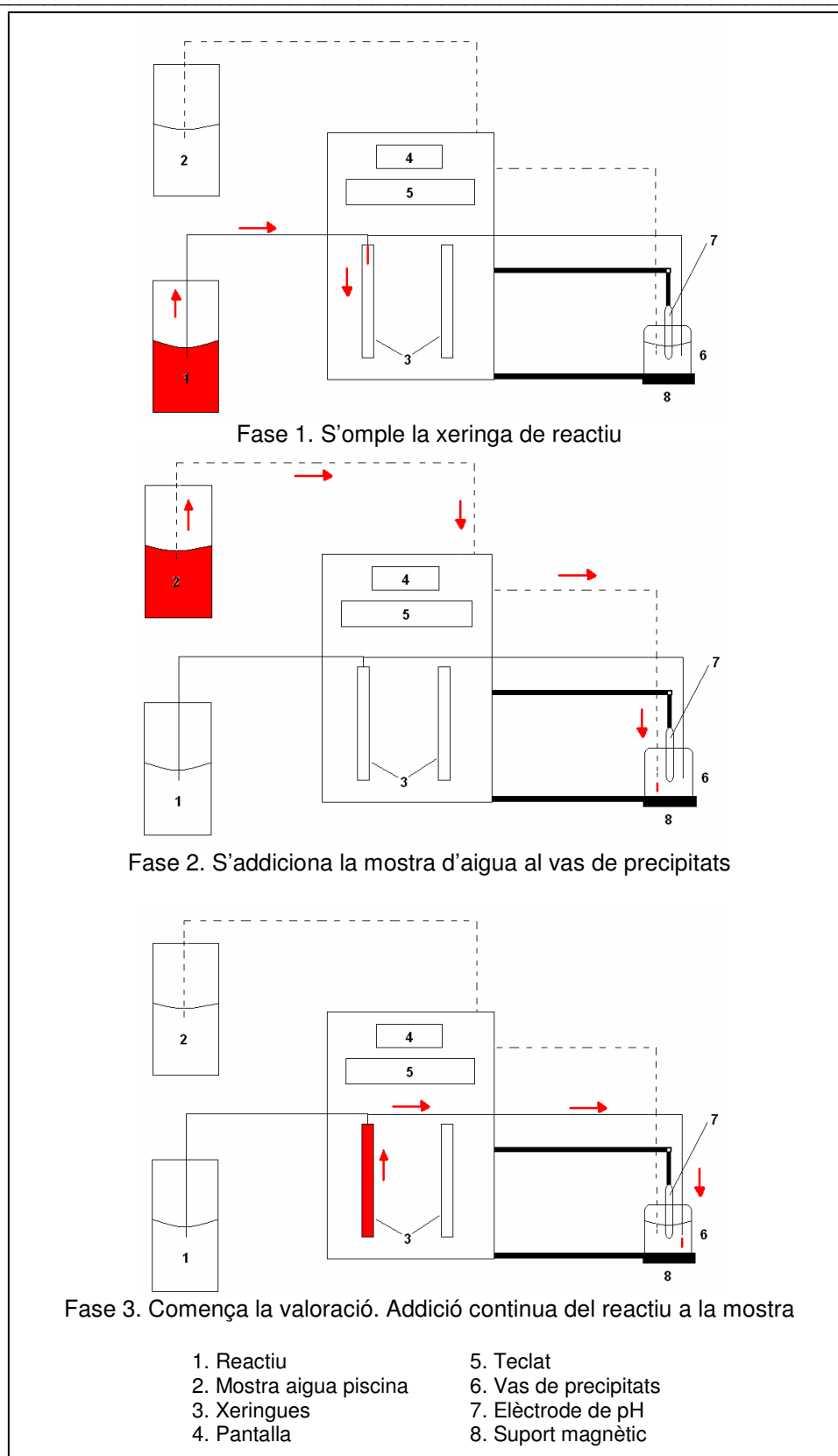
que la solució s'agita contínuament gràcies a un agitador magnètic que s'introdueix manualment al vas de precipitats.



Gràfica 4. Representació gràfica d'una valoració àcid-base pel mètode del punt final, a punt final 8,3.

Aprofitant la característica del valorador de poder emmagatzemar diferents programes, se'n ha creat 2, un per a la valoració del bicarbonat i l'altre per a la de l'àcid carbònic. D'aquesta manera, s'ha utilitzat una xeringa independent per a cada valoració evitant així la contaminació de les xeringues i dels tubs per on circula el reactiu.

A continuació pot observar-se un esquema senzill del funcionament del valorador automàtic:



Il·lustració 21. Esquema de les etapes del funcionament del valorador automàtic utilitzat. Font:

Elaboració pròpia

Determinació del bicarbonat (HCO_3^-)

S'ha realitzat una valoració a punt final de $\text{pH}=4$ a partir del reactiu HCl $0,0058 \text{ M}$, dissolució prèviament preparada al laboratori. Així doncs, el valorador automàtic, connectat a un elèctrode de pH , anirà dispensant quantitats petites de reactiu fins que l'elèctrode detecti el pH que s'ha determinat, en aquest cas 4 . Arribat a aquest punt la valoració es deté, mostrant-se en la pantalla del valorador la concentració de HCO_3^- present en la mostra. Per a poder arribar fins aquí però, abans s'ha programat el valorador.

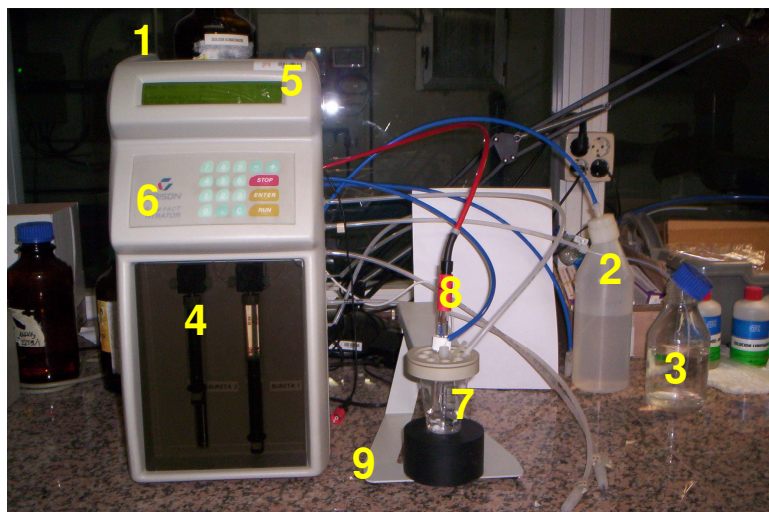
Arribat al punt final de 4 , el valorador calcula automàticament la concentració de l'espècie en qüestió. Per a que les dades fossin més reproduïbles s'ha valorat tres cops la mateixa mostra i s'ha fet la mitjana del tres valors.

Determinació del àcid carbònic

S'ha realitzat una valoració a punt final de $\text{pH}=8,3$ a partir del reactiu NaOH $0,0112 \text{ M}$, dissolució preparada al laboratori. En aquest cas, el valorador anirà dispensant hidròxid de sodi a la mostra d'aigua fins que l'elèctrode de pH detecti un pH de $8,3$. En aquest punt, tot el àcid carbònic present en la mostra haurà reaccionat i el valorador mostrarà automàticament la concentració present del mateix.

En aquest cas, també s'ha efectuat la mitjana dels tres valors obtinguts a partir de la realització de tres valoracions per a cada mostra.

A continuació, s'observen dues fotografies corresponents al valorador automàtic utilitzat en el laboratori:



- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1 i 2. Reactius | 6. Teclat |
| 3. Mostra aigua piscina | 7. Vas de precipitats |
| 4. Xeringues | 8. Elèctrode de pH |
| 5. Pantalla | 9. Suport magnètic |

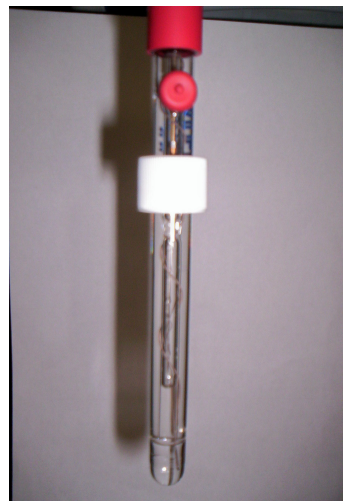
Il·lustració 22. Valorador automàtic utilitzat. Font: Elaboració pròpia



Il·lustració 23. Detall de les dues buretes de les que consta el valorador automàtic. Font: Elaboració pròpia

Determinació del pH

El pH s'ha determinat amb el valorador automàtic connectat a un elèctrode de pH, el qual genera una senyal elèctrica proporcional a la concentració d'ions H^+ . No ha calgut fer una mesura individual del pH de la mostra ja que s'ha aprofitat que, en el moment que es portaven a terme les valoracions d'àcid carbònic i bicarbonat, l'aparell realitza una mesura inicial del pH. El valorador ens dóna el resultat del pH inicial de la mostra en el mateix moment que exposa els resultats de la valoració.



Il·lustració 24. Elèctrode de pH utilitzat. Font: Elaboració pròpia

Determinació del potencial redox

La seva determinació s'ha portat a terme també mitjançant el valorador automàtic. En aquest cas però, l'elèctrode seleccionat és un elèctrode redox, el qual mesura la capacitat oxidativa de l'aigua.

Un cop connectat l'elèctrode al instrument i escollida l'opció de mesurar el redox, s'ha omplert mig vas de precipitats i s'ha introduït l'elèctrode dins la mostra. A partir d'aquí s'ha deixat esperar un minut i mig aproximadament i s'ha pres nota dels mV (milivolts) que marca la pantalla del valorador.



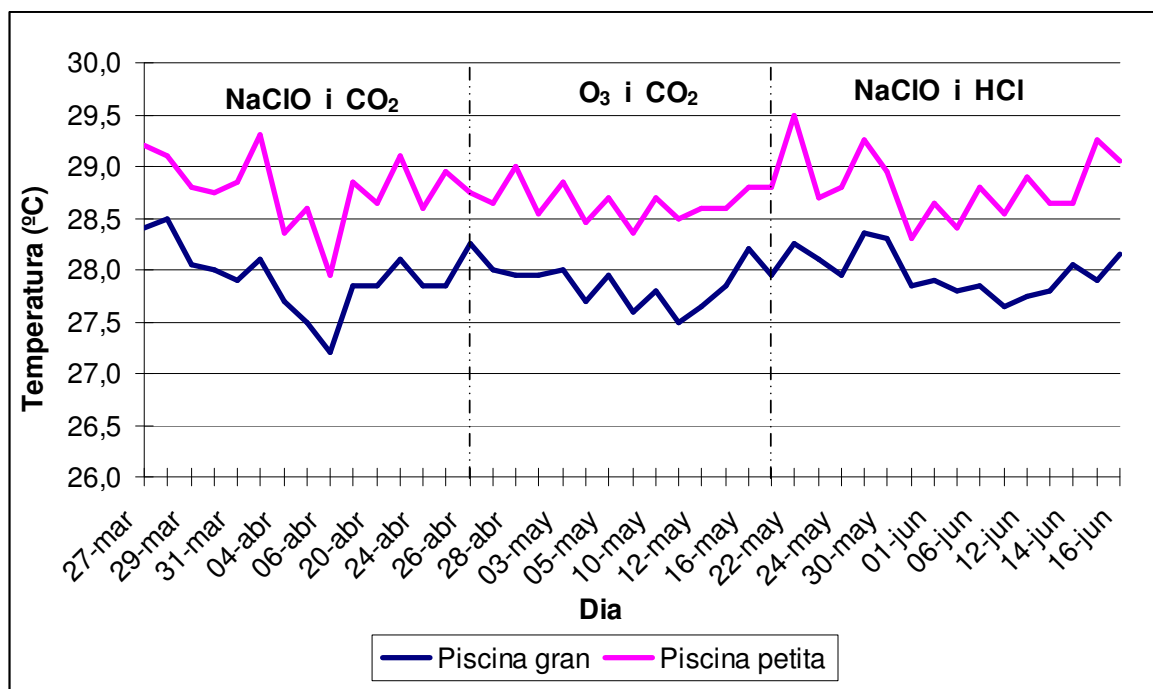
Il·lustració 25. Elèctrode redox utilitzat. Font: Elaboració pròpia

4.4 Resultats i discussió

4.4.2 Paràmetres ambientals

4.4.2.1 Temperatura

En la gràfica 5 es mostren els resultats obtinguts de la temperatura de l'aigua per ambdues piscines on es diferencien els tres períodes d'estudi. En la taula 11 es mostren les mitjanes obtingudes per a cada un dels períodes.



Gràfica 5. Evolució de la temperatura de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

La temperatura se situa, en les dues piscines, entre els valors establerts per la legislació, entre 24 i 30 °C. Tant a partir de la gràfica 6 com de les mitjanes calculades s'observa que la temperatura de la piscina petita està quasi sempre aproximadament 1 °C per sobre de la piscina gran. Aquesta diferència la manté el

SAF expressament degut a que el tipus d'usuari, principalment nens, i l'activitat que s'hi desenvolupa així ho requereixen.

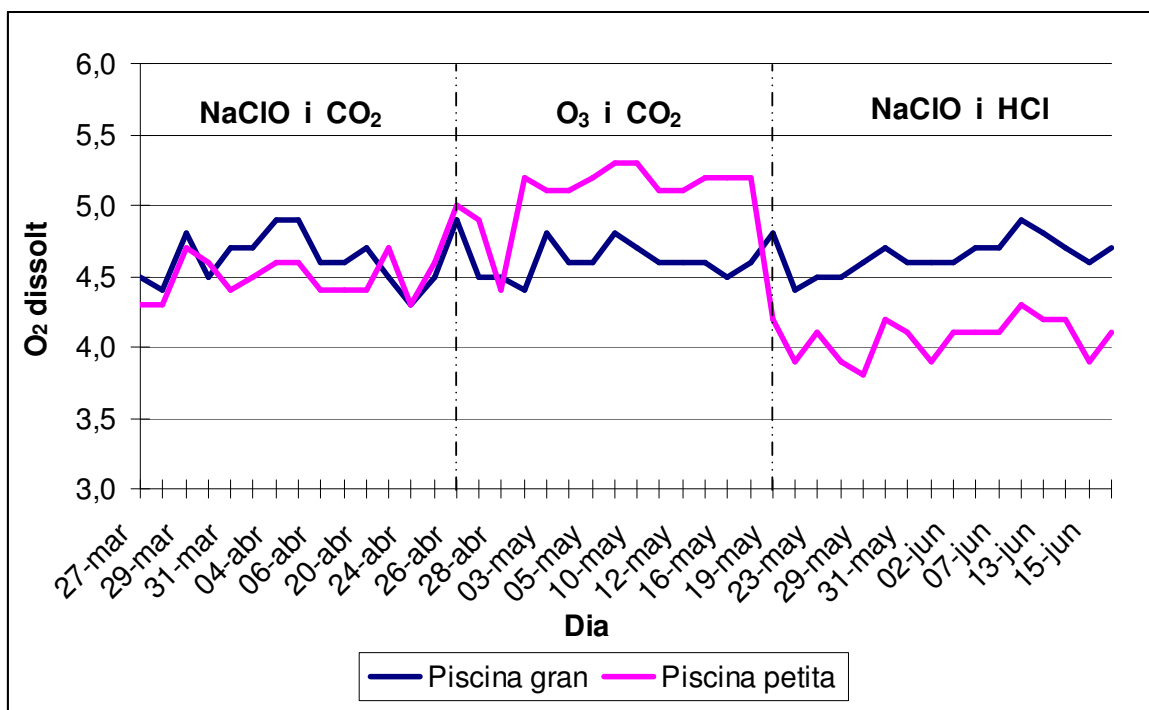
	Mitjanes de temperatura (°C)		
	Període 1	Període 2	Període 3
Piscina gran	27,92	27,88	27,98
Piscina petita	28,79	28,68	28,83

Taula 11. Mitjanes obtingudes de la temperatura per a cada piscina i cada període. Font: Elaboració pròpia.

Tot i que s'observen petites diferències entre períodes en quant a la estabilitat dels valors, no poden atribuir-se als diferents tractaments químics ja que la temperatura constitueix un paràmetre independent als productes utilitzats. Així doncs, les irregularitats que es poden observar són degudes probablement al volum d'usuaris o d'ocupació que hi hagi dins la piscina prèvia a la presa de mostres.

4.4.2.2 Oxigen dissolt

En la gràfica 6 pot observar-se l'evolució de l'oxigen dissolt al llarg de l'estudi on hi són representades les dues piscines. La taula que la segueix, mostra les mitjanes obtingudes per a cada període i cada piscina.



Gràfica 6. Evolució de l'oxigen dissolt de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

	Mitjanes d'O ₂ dissolt (ppm)		
	Període 1	Període 2	Període 3
Piscina gran	4,6	4,6	4,7
Piscina petita	4,5	5,1	4,1

Taula 12 Mitjanes obtingudes de l'oxigen dissolt per a cada piscina i cada període. Font: Elaboració pròpia.

A partir de la gràfica 6 s'observa com la majoria dels valors es mantenen entre un rang de 4 i 5 ppm. Pel que fa a la piscina gran, no s'evidencia cap canvi de la concentració d'oxigen dissolt entre els diferents períodes, aspecte que s'acaba de confirmar si s'observen les mitjanes de la taula 12. Pel que fa a la piscina petita, sí s'observa un augment de l'oxigen dissolt en el període en que el desinfectant principal passa a ser l'ozó, augment de l'ordre de quasi 1 mg/l. Després, quan es

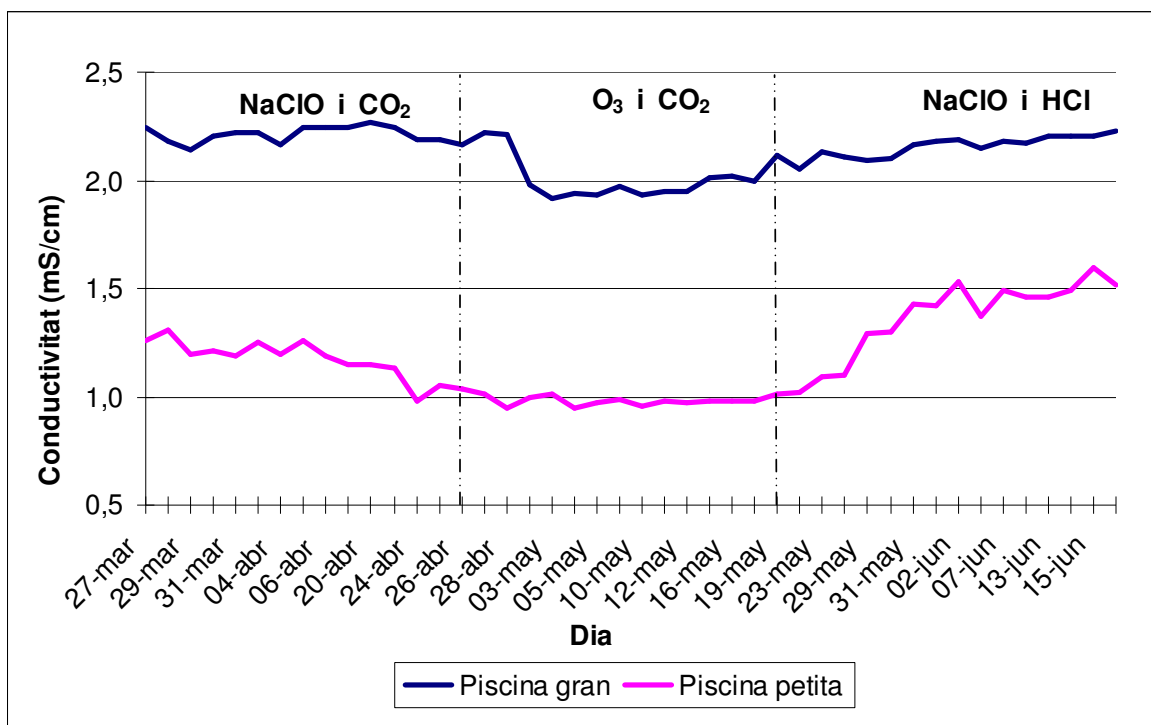
trona a utilitzar l'hipoclorit sòdic com a únic desinfectant, s'observa com l'oxigen torna a disminuir.

El fet d'apreciar l'augment de l'oxigen dissolt només en la piscina petita pot atribuir-se a que la piscina presenta un volum bastant més petit que la piscina gran i, per tant, els canvis es donen en un temps inferior. Per aquest motiu, es creu que l'augment d'oxigen dissolt en la piscina gran podria apreciar-se en un període més llarg de temps aplicant l'ozonització.

L'augment d'oxigen dissolt que s'aprecia en la piscina petita s'atribueix a l'efecte d'oxigenació que causa l'ozó. I, donat que l'oxigen dissolt d'una aigua és un indicador de qualitat, podria dir-se que, encara que sigui poc apreciable, la qualitat de l'aigua de la piscina petita ha augmentat lleugerament.

4.4.2.3 Conductivitat

Els nivells de conductivitat analitzats al llarg de l'estudi es representen en la gràfica següent:



Gràfica 7. Evolució de la conductivitat de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

A continuació, es mostren les mitjanes de conductivitat obtingudes per a cada piscina i període:

	Mitjanes conductivitat (mS/cm)		
	Període 1	Període 2	Període 3
Piscina gran	2,21	2,01	2,15
Piscina petita	1,18	0,98	1,35

Taula 13. Mitjanes obtingudes de la conductivitat per a cada piscina i cada període. Font: Elaboració pròpia.

En la gràfica 7 s'observa com els valors de conductivitat es troben entre 1 i 2,5 mS/cm. La piscina gran però, presenta uns valors aproximadament 1 mS/cm per sobre de la petita. Si es segueix el perfil de les gràfiques s'observa com els valors

són més o menys estables i que van disminuint lentament. En la piscina gran però, a partir del període 2, es veu com la conductivitat disminueix d'una manera més acusada. L'aspecte més significatiu s'observa a partir del tercer període, on es veu clarament una tendència de la conductivitat a augmentar.

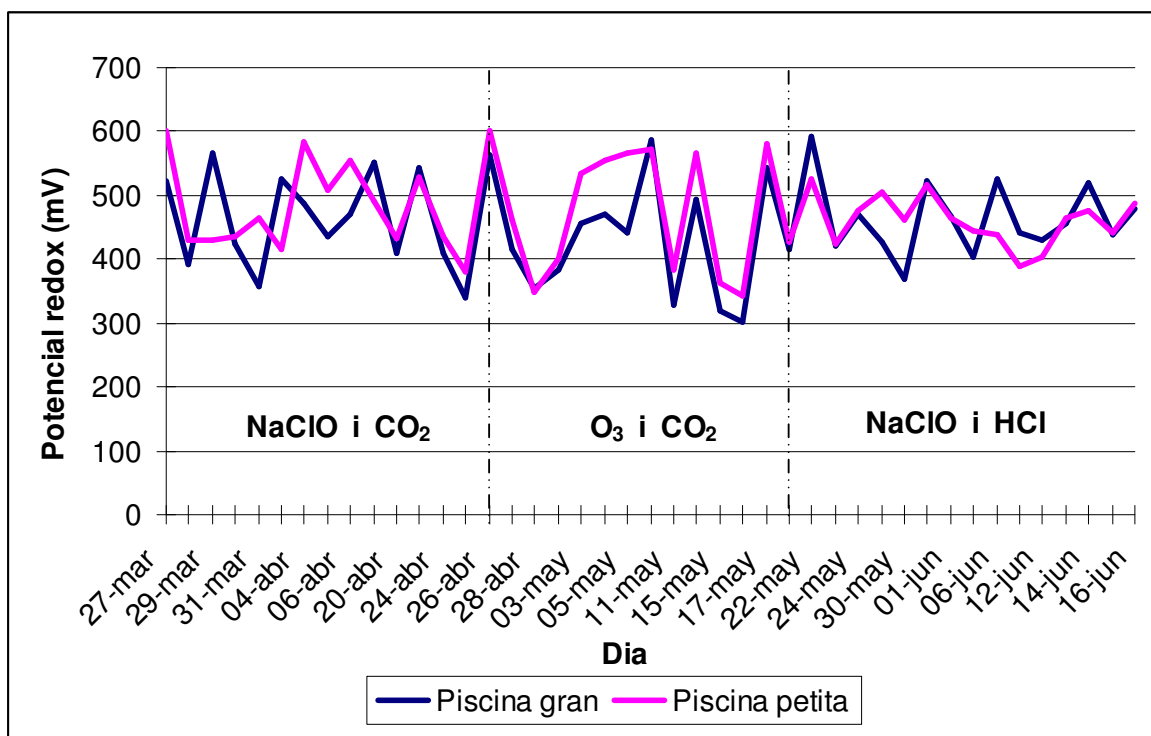
Els valors inferiors de conductivitat en els períodes 1 i 2 respecte el tercer s'atribueixen al fet de que el reductor de pH utilitzat, el CO_2 , es transforma en àcid carbònic, que és una forma no iònica. I tot i haver-hi present l'espècie bicarbonat (HCO_3^-), aquest és molt poc conductor. En canvi, a partir del tercer període, l'ús de l'àcid clorhídric fa augmentar clarament la conductivitat degut a que es dissocia en clorurs (Cl^-), ions que aporten gran conductivitat a l'aigua de piscina.

La baixada concreta de conductivitat de la piscina gran que s'observa en començar el període 2 és deguda a que el dia 28 d'abril va donar-se un problema tècnic en no funcionar les bombes d'impulsió que aporten l'aigua a la piscina. Per tant, la piscina es va anar buidant fins a uns 40 cm en alçada respecte el nivell normal, amb el que va tenir que aprofitar-se una quantitat considerable d'aigua nova per a recuperar aquest nivell, aigua de xarxa que presenta una conductivitat inferior.

El fet de que la conductivitat sigui superior en la piscina gran és degut a que experimenta menys renovacions d'aigua diàries que la petita. Un 1-2% de l'aigua de la piscina gran es renova diàriament, a diferència de la petita que ho fa en un 5 %.

4.4.2.4 Potencial redox

En la representació de la gràfica 8 pot observar-se com el potencial d'oxidació-reducció és poc estable, amb alts i baixos quasi d'un dia per l'altre. No obstant, els valors sempre es troben al voltant dels 400 i 600 mV.



Gràfica 8. Evolució del potencial redox de les piscines gran i petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

	Mitjanes potencial redox (mV)		
	Període 1	Període 2	Període 3
Piscina gran	459,90	435,70	461,40
Piscina petita	478,0	482,6	459,1

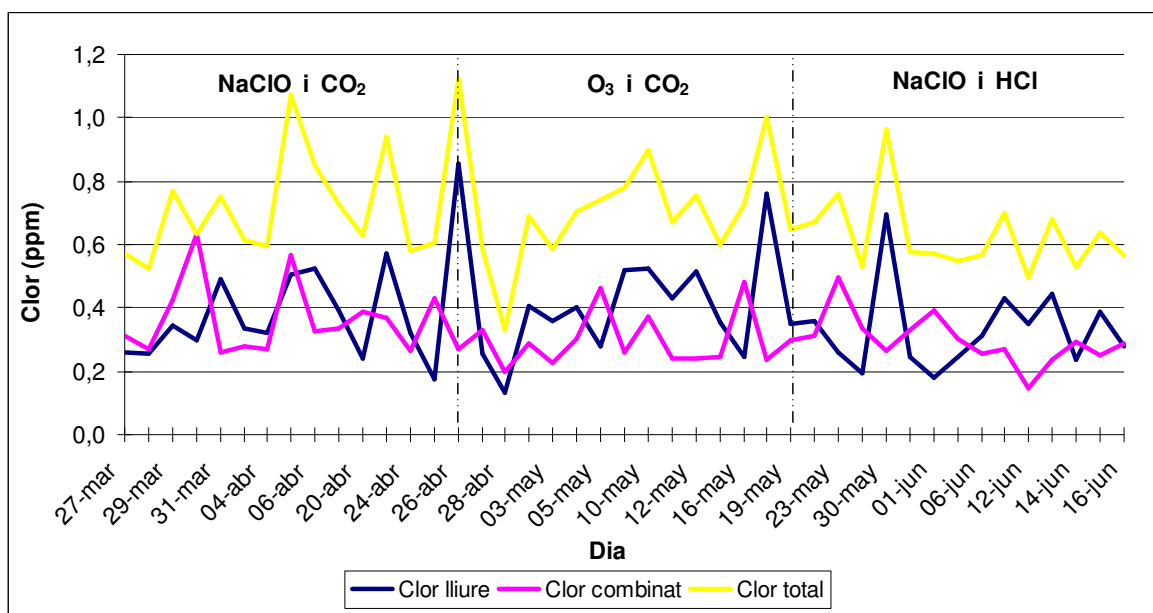
Taula 14. Mitjanes obtingudes del potencial redox per a cada piscina i cada període. Font: Elaboració pròpia.

Observant la taula 14, les mitjanes respecte cada període no semblen variar gaire. A partir del resultats obtinguts doncs, no pot establir-se una relació clara d'aquest paràmetre amb els productes químics utilitzats en la desinfecció, tot i que sembla que amb la utilització d'HCl i NaClO aquestes irregularitats tendeixin a disminuir.

Cal esmentar que a aquest paràmetre, i com la majoria dels que influeixen en una piscina, li poden afectar molts factors que poden justificar la seva variabilitat, factors com per exemple la ventilació o l'ocupació.

4.4.2.5 Clor

A continuació es presenta la gràfica 9, en que es mostra l'evolució del clor combinat, lliure i total de la piscina gran al llarg del període d'estudi.



Gràfica 9. Evolució del clor total, lliure i combinat, de la piscina gran durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

Els valors que s'observen són bastant inestables en el temps durant els tres períodes. Tot i així, les mitjanes que es troben en la taula 15 semblen no variar molt d'un període a l'altre.

Les mitjanes respectives a cada període s'observen a continuació:

	Mitjanes clor (ppm)		
	Període 1	Període 2	Període 3
Clor lliure	0,360	0,431	0,331
Clor combinat	0,366	0,297	0,298
Clor total	0,705	0,728	0,630

Taula 15. Mitjanes obtingudes del clor per a la piscina gran i cada període.

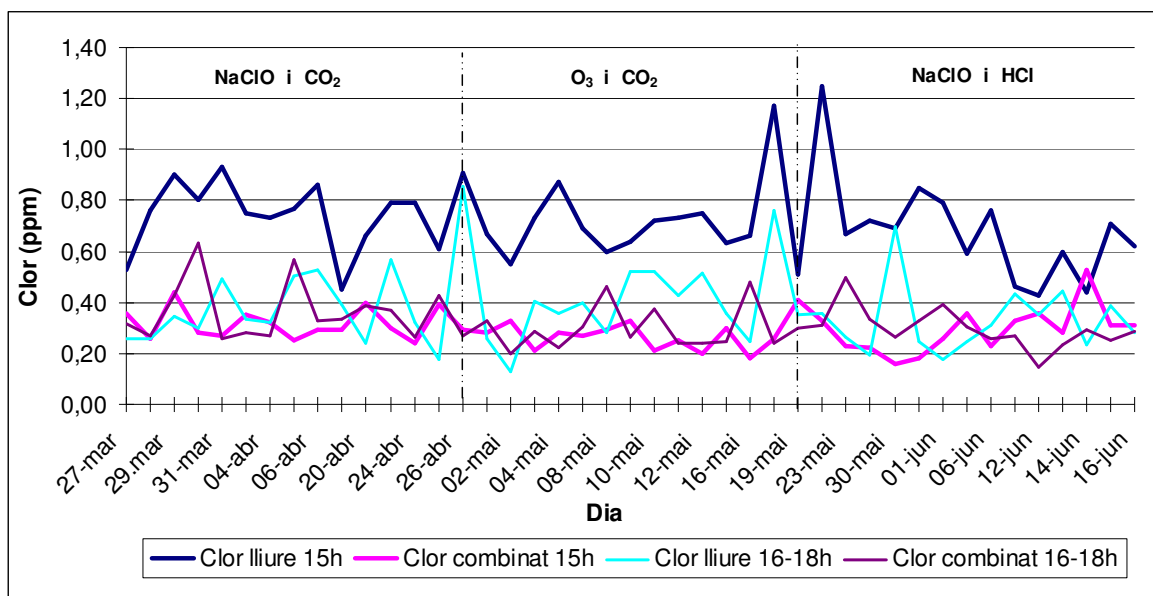
Font: Elaboració pròpia.

Pel que fa al clor total, sembla ser més uniforme respecte el clor lliure i combinat, ja que aquests últims presenten bastants alts i baixos. Tot i esperar-se veure una clara disminució del clor combinat en la fase d'ozonització, la representació gràfica de les dades no sembla confirmar-ho. No obstant, si s'atén a les mitjanes pot veure's com el valor del clor combinat és una mica més baix en el període d'ozonització que en la resta, encara que la diferència és quasi insignificant. En aquest mateix període, el clor lliure resulta ser el més elevat.

El fet d'haver obtingut aquests valors oscil·lants podria justificar-se per l'agitació que presenta l'aigua de la piscina en segons quines hores. Tot i que la presa de mostres s'ha realitzat sempre entre les 16h i les 18h de la tarda, segons el dia, l'agitació de l'aigua deguda als usuaris ha estat més forta, com per exemple, quan grups escolars venen a practicar aquest esport. Si es contrasta aquests valors amb els obtinguts pel personal de manteniment, els quals mesuraven el clor a les 15h de la tarda, pot evidenciar-se una diferència entre les gràfiques, probablement causada pel fet de que a les 15h l'activitat o ocupació que rep la piscina és molt inferior.

En la gràfica 10 es compara els resultats del personal de manteniment obtinguts a les 15h i els obtinguts a nivell personal (entre les 16h i les 18h), on s'observa com els valors de les 15h són una mica més constants al llarg del temps, en no

sobreposar-se els valors de clor lliure i clor combinat. A part d'això, els nivells de clor lliure semblen ser més alts i els de clor combinat, de mitja, una mica més baixos. Tot i això, els perfils semblen seguir una tendència semblant.



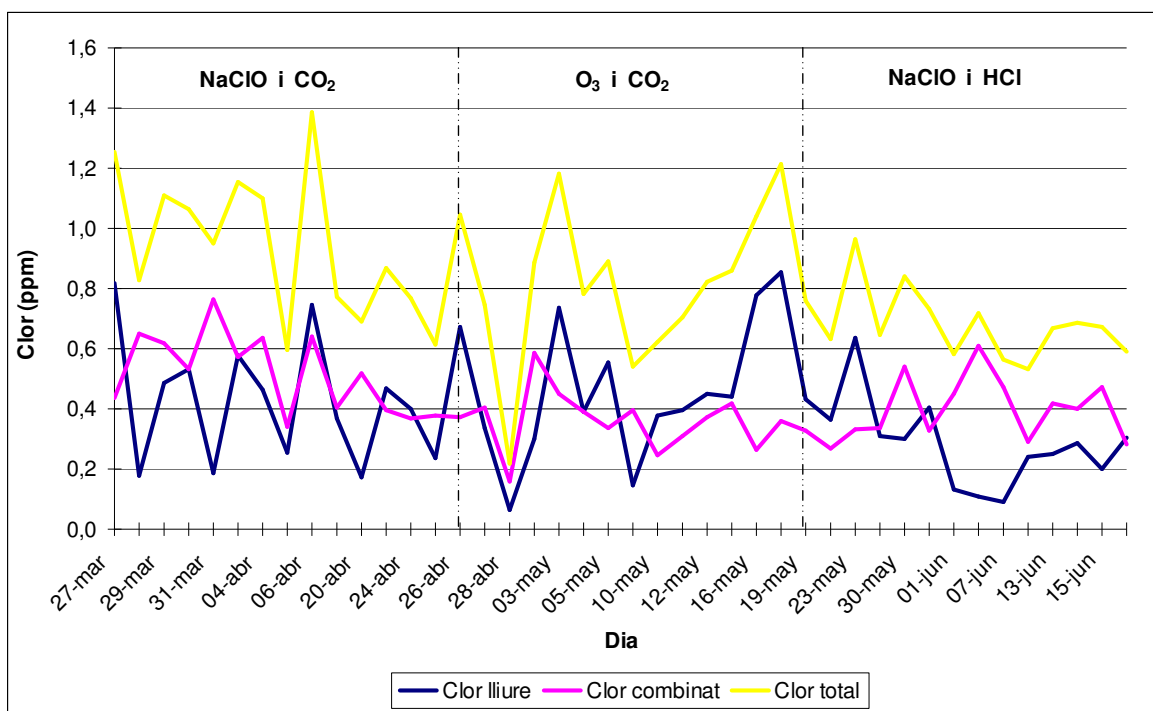
Gràfica 10. Comparació de l'evolució del clor lliure i combinat de la piscina gran entre els valors obtinguts a nivell personal (entre les 16 i les 18h) i els obtinguts pel personal de manteniment (15h) durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

El fet de que l'agitació pugui ser la causant dels alts i baixos que s'observen de clor lliure i combinat en la gràfica 9 es dóna perquè l'agitació causa una major evaporació de les substàncies i, conseqüentment, a la superfície de l'aigua les espècies de clor seran menys estables (cal recordar que el clor combinat o cloramines són volàtils).

Tot i que no es disposa de les dades, el que sí que va observar-se és que, al arrancar l'ozonització el dia 26 d'abril i fer-se un seguiment del nivell de clor combinat durant les 5 primeres hores, aquest va disminuir clarament respecte els nivells de partida (quasi un 50 %).

Cal afegir que el nivell d'ocupació de la piscina juga un paper molt important alhora d'analitzar aquest paràmetre i que, en estudis anteriors del SAF, s'ha corroborat la gran relació que té el nivell d'ocupació amb els valors de clor. A més a més, per a poder atribuir algun efecte causat per l'ozonització potser s'hauria d'augmentar els nivells d'ozó injectats a l'aigua.

A continuació s'observa l'evolució del clor lliure, combinat i total, ara però, per a la piscina petita:



Gràfica 11. Evolució del clor total, lliure i combinat, de la piscina petita durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

Les mitjanes respectives a cada període s'observen a continuació:

	Mitges clor (ppm)		
	Període 1	Període 2	Període 3
Clor lliure	0,421	0,465	0,290
Clor combinat	0,519	0,326	0,394
Clor total	0,939	0,827	0,684

Taula 16. Mitjanes obtingudes del clor per la piscina petita i cada període. Font: Elaboració pròpia.

En la piscina petita s'observa el mateix que en la gran, tot i que les mitjanes obtingudes semblen, a nivell general, una mica més elevades. Curiosament, tot i no apreciar-se en la gràfica 11, en la taula 16 de mitjanes torna a donar-se el fet de que el període on el clor combinat és inferior és en el d'ozonització, encara que la diferència sigui quasi inapreciable. Potser a llarg temps, això podria ser un indicador de que realment sí disminueix el nivell de clor combinat en la fase d'ozonització i diòxid de carboni.

Tot i que no es mostra gràficament la relació, en comparació amb els valors obtinguts pel personal de manteniment en hores on la piscina presenta menys ocupació torna a observar-se el mateix que en la piscina gran.

En general, tant en la piscina gran com en la petita, no s'observa cap variació significativa en funció del tractament químic i els valors obtinguts es troben al voltant dels rangs establerts per la normativa vigent.

4.4.3 Subproductes de la desinfecció

Els DBP que s'han analitzat al llarg d'aquest estudi són els THM i els anàlisis han estat portats a terme per el SAQ. Tot i que no es disposa de les dades, sí que s'han pogut consultar.

En aire s'ha analitzat el cloroform. I en aigua, s'han analitzat els THMs següents:

- Triclorometà
- Bromodiclorometà
- Dibromoclorometà
- Tribromometà

Les concentracions que s'han obtingut, i com era d'esperar, són de l'ordre de ppb ($\mu\text{g/l}$).

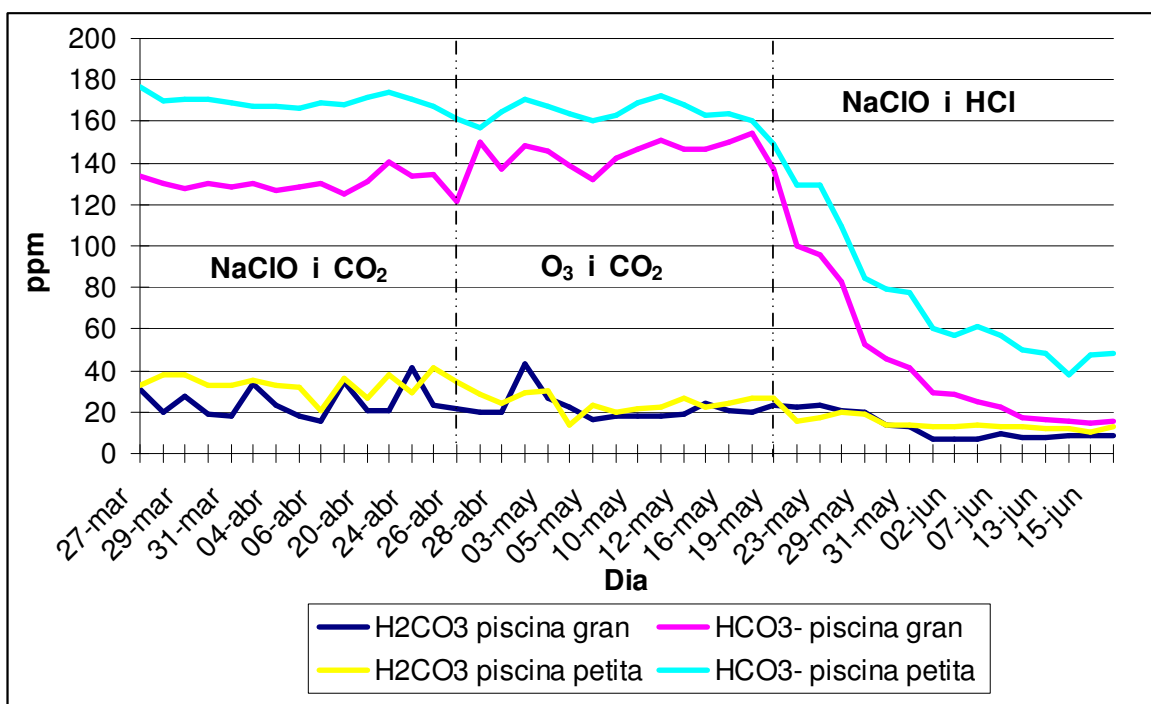
En general i durant els tres períodes, els THM presents en aigua no semblen variar. El que sí s'ha constatat és que el nivell de THM presents en l'aigua de xarxa és molt més elevat que el que es troba en la piscina. Això és principalment degut a l'evaporació dels THM a l'ambient que es produeix quan l'aigua entra a la piscina.

Pel que fa a l'anàlisi de cloroform de l'aire de la piscina només s'aprecia un augment del mateix en el tercer període, en que s'utilitza hipoclorit sòdic i àcid clorhídric.

Per tant, es creu que si han de formar-se més THM aquests es trobaran a l'aire de l'ambient de la piscina, ja que els THM són molt volàtils i l'elevada temperatura a la que es troba l'aigua de les piscines ho facilitarà. En aquests moments s'està portant a terme un estudi al SAF per a corroborar aquesta hipòtesi que, ara per ara, sembla indicar que es confirma.

4.4.4 El CO₂ enfront l'HCl. Paràmetres H₂CO₃, HCO₃⁻ i pH

A continuació es presenta la gràfica 12, on es mostra els nivells de bicarbonat i àcid carbònic que s'han obtingut per a cada piscina i al llarg del temps. En aquesta gràfica es veu l'efecte més significatiu que ha tingut l'addició de CO₂ a l'aigua. Seguidament es troba la taula 17, on es mostra les mitjanes obtingudes de les espècies anteriors per a cada un dels períodes i per a cada piscina.



Gràfica 12. Evolució de les espècies d'àcid carbònic (H₂CO₃) i bicarbonat (HCO₃⁻) de les piscines durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

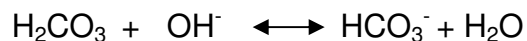
	Mitjanes d' H_2CO_3 i HCO_3^- (ppm)					
	Període 1		Període 2		Període 3	
	H_2CO_3	HCO_3^-	H_2CO_3	HCO_3^-	H_2CO_3	HCO_3^-
Piscina gran	24,77	130,77	21,91	143,9	12,95	46,26
Piscina petita	33,31	169,92	25,70	164,71	14,90	76,49

Taula 17. Mitjanes obtingudes d'àcid carbònic i bicarbonat per les piscines i cada període. Font: Elaboració pròpia.

En la gràfica 12 s'observa clarament com influeix l'addició de CO_2 a la piscines del SAF. En els períodes en que s'utilitza el CO_2 les concentracions d'ambdues espècies (H_2CO_3 i HCO_3^-) és força més elevada que quan s'utilitza HCl, sobretot la d' HCO_3^- creant un medi molt tamponat. En quan deixa d'utilitzar-se CO_2 per a utilitzar HCl, s'observa com disminueix radicalment la concentració d' HCO_3^- i també, encara que menys, la d' H_2CO_3 .

Es pot constatar que els nivells d'aquestes espècies en una piscina convencional i al pH habitual és de l'ordre dels valors que s'observen a partir del dia 12 de juny, que és on semblen estabilitzar-se. Així doncs es pot establir que per a la piscina petita les concentracions són al voltant de 8 mg/l d' H_2CO_3 i 16 mg/l de HCO_3^- i en la piscina gran d'uns 12 mg/l d' H_2CO_3 i 46 mg/l de HCO_3^- . Es torna a insistir que aquests valors són aproximats i fan referència a quan les piscines treballen de forma convencional.

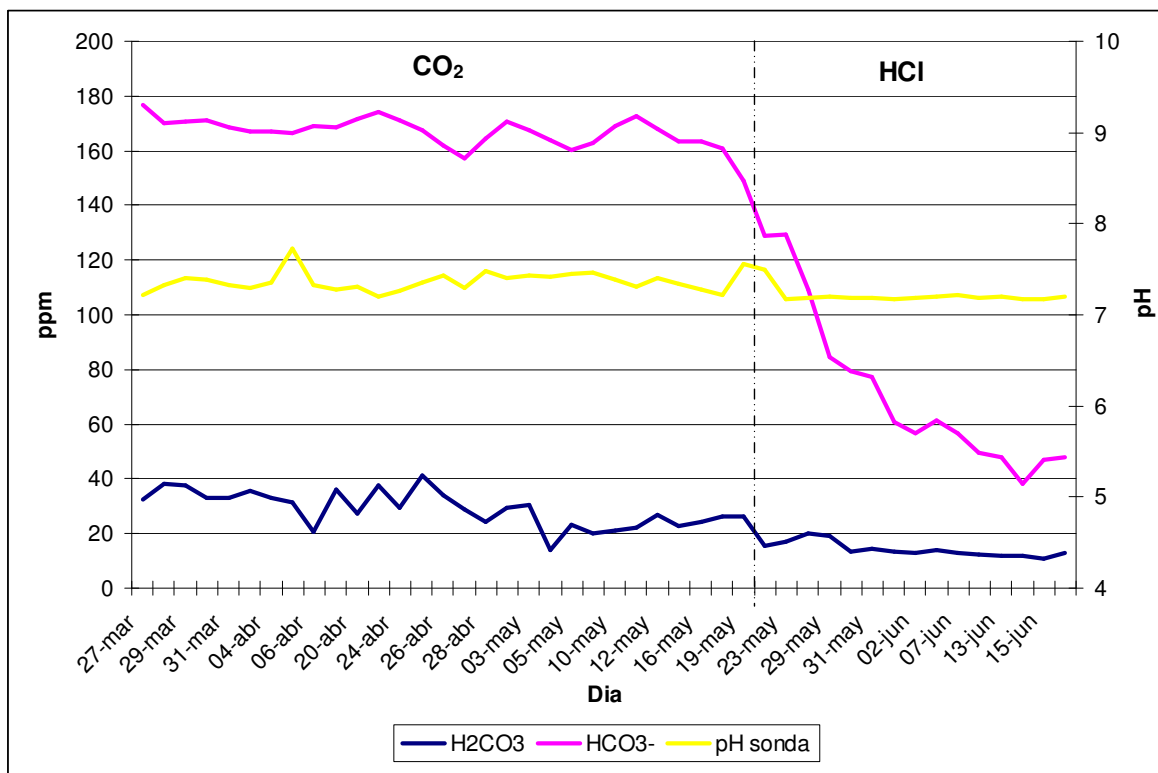
A partir d'aquests resultats s'observa com la majoria del CO_2 que s'addiciona a l'aigua es troba a la piscina en forma de H_2CO_3 . Els ions OH^- que es formen al addicionar hipoclorit sòdic són utilitzats per l' H_2CO_3 per a formar bicarbonat de la següent manera:



Quadre 11

A més a més, atenent a que la reacció de formació de l' H_2CO_3 és tant lenta, abans d'haver-se format l'àcid carbònic és possible que molt del CO_2 ja s'hagi alliberat a l'ambient de la piscina.

En general i a partir dels valors obtinguts, es pot dir que l'addició de CO_2 que es fa actualment al SAF fa augmentar de mitja unes 5 vegades més el nivell de bicarbonat i més del doble el nivell d'àcid carbònic, tant per a la piscina gran com per a la petita. Això sembla excessiu i més encara si s'observa com els valors de pH són igual de correctes amb menys concentració de H_2CO_3 i HCO_3^- :



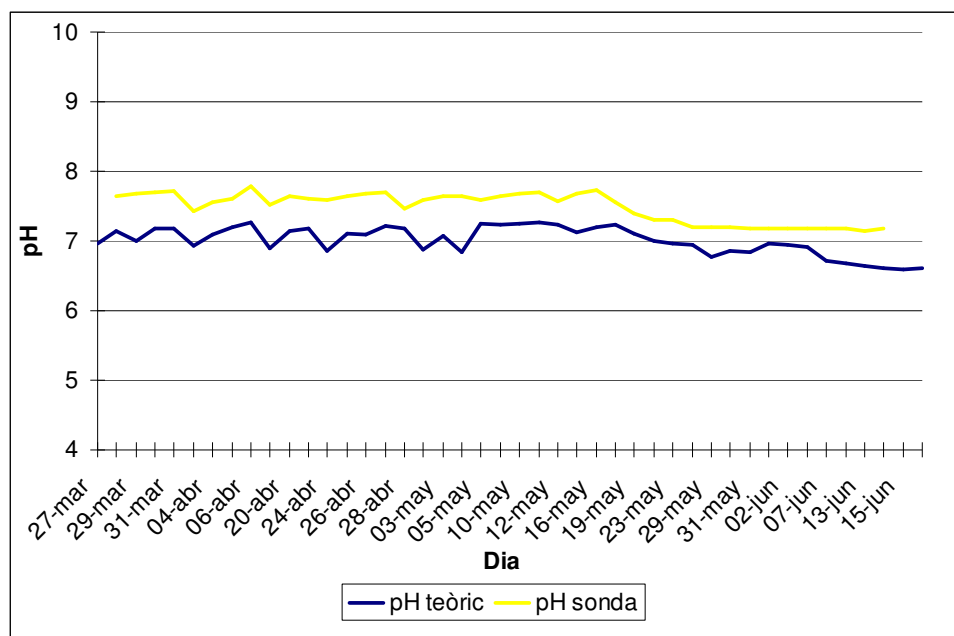
Gràfica 13. Evolució de les espècies d'àcid carbònic (H_2CO_3) i bicarbonat (HCO_3^-) en comparació amb el pH detectat per la sonda de la piscina petita. Font: Elaboració pròpia

A partir de les concentracions de les espècies d' H_2CO_3 i HCO_3^- obtingudes s'ha calculat el pH teòric per a cada piscina, és a dir, aquell pH que hauria de trobar-se donada la presència de les anteriors espècies. Aquest s'ha calculat a partir de l'equació següent:

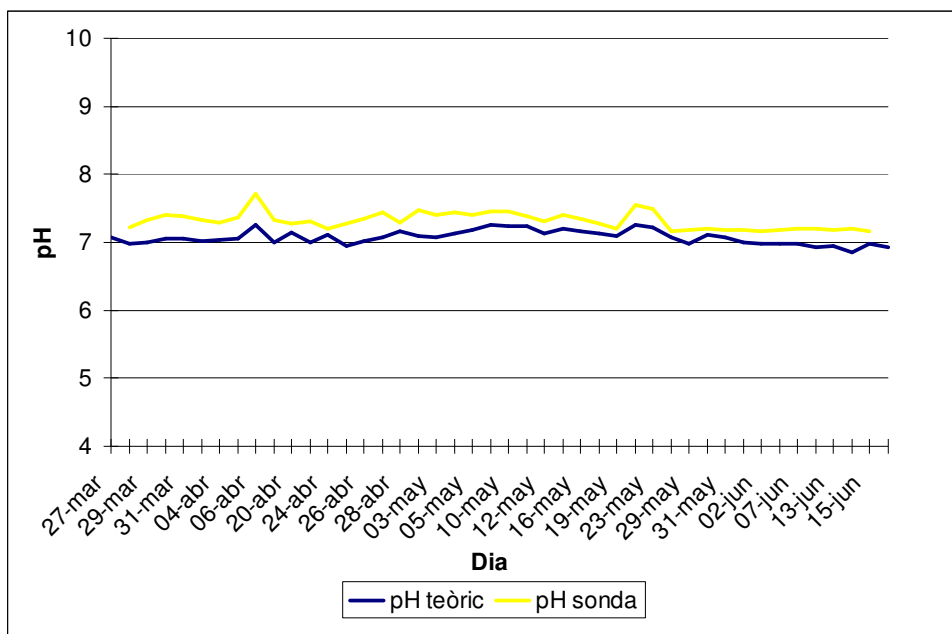
$$\text{pH} = \text{pK}_1 + \log [\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3] \quad \text{On } \text{pK}_1 = 6,34$$

Equació 1

En la gràfica 14 es mostra l'evolució del pH teòric en comparació amb el que marca la sonda de pH de la piscina gran. Posteriorment, es troba la gràfica 14 on es mostra els mateixos valors però per a la piscina petita.



Gràfica 14. Evolució del pH teòric de la piscina gran en comparació amb el que marca la sonda de pH durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.



Gràfica 15. Evolució del pH teòric de la piscina petita en comparació amb el que marca la sonda de pH durant els diferents tractaments químics aplicats a l'aigua, entre el dia 27 de març i el 16 de juny. Font: Elaboració pròpia.

En primer lloc i observant les gràfiques anteriors pot afirmar-se que els valors de pH, tant els calculats (teòrics) com els que marca la sonda, es troben dins el rang establert per la legislació trobant-se al voltant de 7 i amb un màxim de 7,8.

S'observa un fet força significatiu, i és que tots els valors que marca la sonda són constantment superiors als que teòricament haurien de ser. Això és degut a que segurament quan l'aigua arriba a la sonda encara no ha donat suficient temps per a formar-se l' H_2CO_3 i en detecta molt poc, fent que el pH sigui més elevat¹. D'aquesta manera, l'alliberació excessiva de CO_2 que es produeix actualment pretén compensar aquest dèficit d'àcid que detecta la sonda per tal d'arribar al $\text{pH}=7,2$, consigna fixada en que es deixa d'addicionar el reductor de pH.

El fet de que el valor de pH teòric sigui més baix es deu a que la mostra que s'ha mesurat d' H_2CO_3 prové de la superfície de la piscina, on hi ha molt CO_2 aquós

¹ Es recorda la relació que presenten aquestes espècies amb el pH: $\text{pH} = \text{pK}_{a1} + \log [\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$

degut a que el CO_2 és molt volàtil i li costa molt passar a H_2CO_3 . Per tant i com s'ha explicat en el capítol 4, l'espècie d' H_2CO_3 que es mesura és una espècie hipotètica, on el CO_2 representa més del 99% de la concentració mesurada. La sonda, en canvi mesura, íntegrament la concentració d' H_2CO_3 present en l'aigua. No obstant, el pH teòric és el que més s'apropa a la realitat, ja que tot aquest CO_2 mesurat acabaria convertint-se en H_2CO_3 .

Per tant, el fet de que la sonda mesuri un pH més elevat i essent la consigna de dispensació de CO_2 a partir de $\text{pH}=7,2$ no deixarà d'afegir-hi fins que la sonda detecti aquest pH, que segons els valors obtinguts s'assoleix en casos comptats. Potser seria convenient estudiar possibles alternatives de la ubicació de la sonda de pH, altres indrets on hagués donat més temps per a la formació d' H_2CO_3 i els valors s'apropessin més als estimats.

Així doncs, si la consigna fixada per alliberar el reductor de pH fos més elevada que la ja establerta ($\text{pH}=7,2$) s'estalviaria més CO_2 en el sentit que costaria menys arribar al pH fixat. Cal recordar que la legislació marca un rang entre 7 i 7,8, així que encara hi ha marge suficient com per a variar la consigna. A més a més, utilitzant-se ozó aquest canvi no afectaria al seu poder desinfectant i, pel que fa a la desinfecció dins el vas de piscina amb hipoclorit sòdic i observant la gràfica 1, el fet de passar de passar d'un pH de 7,2 a, per exemple, 7,5 tampoc afectaria en la desinfecció en el sentit de que la espècie predominant continuaria sent l'àcid hipoclorós.

Donat que la reacció de formació d'àcid carbònic és molt lenta i, com s'ha esmentat en altres apartats, és possible que molt del CO_2 addicionat s'evapori ràpidament a l'ambient de la piscina, potser hauria d'enginyar-se alguna manera per a que el CO_2 tingués més temps per a reaccionar i formar l'àcid carbònic. Això però, hauria de portar-se a terme en un lloc tancat sense contacte amb l'aire i abans d'entrar al vas de piscina.

Per últim, es mostren les mitjanes dels valors obtinguts a nivell personal, on es destaca l'estabilitat dels valors al voltant de 7, molt més a prop del pH teòric calculat que del que marca la sonda.

	Mitjanes de pH		
	Període 1	Període 2	Període 3
Piscina gran	7,17	6,89	6,71
Piscina petita	7,00	6,99	6,95

Taula 18. Mitjanes obtingudes del pH per a cada piscina i cada període. Font: Elaboració pròpia.

5. CONCLUSIONS I PROPOSTES DE FUTUR

5 CONCLUSIONS I PROPOSTES DE FUTUR

5.1 Conclusions

En aquest projecte s'han descrit i comparat dues tècniques de desinfecció de l'aigua de piscina; la cloració i l'ozonització. S'ha determinat quines problemàtiques genera la desinfecció de l'aigua en aspectes com la confortabilitat i salut dels usuaris, en el manteniment de les instal·lacions o els impactes generats al medi ambient. L'estudi realitzat en les piscines del SAF de la UAB ha permès determinar si existeixen o no variacions dels paràmetres de control de l'aigua en canviar el tipus de tractament químic i ha permès estudiar la nova tècnica en la minoració del pH amb diòxid de carboni.

A continuació, s'exposen les conclusions a les que s'ha arribat en aquest projecte:

- La utilització d'ozó augmenta clarament la confortabilitat dels usuaris ja que ha estat comprovat, tant a nivell personal com a partir de fonts del SAF, que alguns dels usuaris utilitzen la piscina tan sols en el cas que estigui posada en marxa la instal·lació d'ozó, amb el que es percep la satisfacció dels usuaris sobre aquesta tècnica.
- El nivell de cloroform en aire mesurat durant el període de desinfecció amb hipoclorit sòdic i àcid clorhídric en comparació amb la resta de períodes reforça el fet de que amb aquests productes els nivells de THM són superiors que amb la utilització d'ozó i diòxid de carboni. A partir dels resultats però, no sembla poder-se confirmar el mateix en l'aigua de piscina.
- La resta de paràmetres analitzats (oxigen dissolt, conductivitat, clor i potencial redox) es troben al voltant dels límits permesos per la llei, sigui

quina sigui la tècnica utilitzada en la desinfecció de l'aigua. Només s'identifiquen canvis significatius en els paràmetres de conductivitat i oxigen dissolt, on el primer paràmetre presenta uns valors inferiors amb la utilització de CO_2 com a reductor de pH i el segon augmenta lleugerament en utilitzar ozó. Aquests petits canvis poden ser indicadors d'alguns dels efectes positius causats per les noves tècniques implantades al SAF.

- La tècnica del CO_2 per a reduir el pH resulta eficient en el sentit que al llarg de l'estudi on s'ha utilitzat aquest producte el pH mesurat es manté dins el rang establert per la legislació, així com al resta de paràmetres. A més a més, la seva instal·lació no va suposar cap gran modificació en la instal·lació ja present, convertint-se d'aquesta manera en una mesura tècnicament viable alhora d'adaptar-la en qualsevol instal·lació convencional.
- El problema detectat del sobreconsum actual de CO_2 en les instal·lacions del SAF pot ser minimitzat si es porten a terme una sèrie de mesures que han estat enunciades en l'apartat de resultats i que es concreten més endavant. Les anàlisis realitzades sobre àcid carbònic, bicarbonat i pH han servit per a poder arribar a desenvolupar aquestes propostes, on s'ha observat que la majoria de CO_2 que s'addiciona es troba en forma de bicarbonat, que una bona part del CO_2 addicionat s'allibera a l'ambient de la piscina i que el pH detectat per la sonda és lleugerament superior al que s'esperaria que fos, tot i que es troba dins la normativa.
- Els resultats de l'estudi de les espècies d'àcid carbònic i bicarbonat suggereixen que les concentracions presents en una piscina convencional de dimensions similars a la piscina gran del SAF són al voltant de 12 mg/l d' H_2CO_3 i 46 mg/l de HCO_3^- . I les concentracions per a una piscina de dimensions com la petita són d'uns 8 mg/l i 16 mg/l d' H_2CO_3 i de HCO_3^- .

respectivament. La diferència entre piscines es deu bàsicament a la diferent manera d'utilització que se'n fa de cada una d'elles.

- Independentment del desinfectant utilitzat la variabilitat temporal que presenten alguns paràmetres (sobretot el clor) i la dificultat d'establir una relació clara entre ells es dona a causa de la gran diversitat de factors que entren en joc en una piscina i que poden justificar aquesta variabilitat. Aquests factors poden ser l'ocupació (volum d'usuaris) que pot rebre la piscina, canvis en la ventilació, renovacions puntuals de l'aigua, etc. Per tant, és difícil establir una tendència si no es controlen alhora tots aquests factors.
- Amb la cloració i la consegüent formació de compostos orgànics halogenats es contaminen l'aire i els rius que, tot i semblar un volum petit comparat amb altres abocaments, no deixen de contribuir en la degradació del medi. Aquest aspecte es veu disminuït amb la utilització d'ozó, ja que la necessitat de desinfectant halogenat és mínima. Cal a esmentar que l'aplicació de diòxid de carboni utilitzada en les piscines del SAF, que elimina la utilització d'àcid clorhídric, també contribueix en la disminució de clor alliberat al medi ambient, en aquest cas, del clor inorgànic (Cl^-).
- La utilització de CO_2 com a regulador de pH en aigües de piscina ajuda a contribuir en la fixació de CO_2 atmosfèric.
- Si es compara les dues piscines entre elles no es poden establir més conclusions que les ja esperades, com per exemple, que la conductivitat i la temperatura són més altes en la piscina petita. Les diferents condicions que presenten (grau d'ocupació, activitat que s'hi realitza o al percentatge de renovació) justifiquen aquestes diferències.

- S'ha trobat a faltar normativa en base als subproductes de desinfecció que es formen en les piscines, tant en aigua com en aire. Si en la llei es fixés uns límits de concentració de DBP es portaria un control de la seva formació, molt important en termes de salut.

Alguns dels problemes generats per la desinfecció de les aigües de piscina descrits al llarg del projecte poden eliminar-se amb l'aplicació de noves tècniques, però la majoria simplement es redueixen, com la formació de DBP. Per tant i donat que sembla inevitable deixar de “contaminar”¹ l'aigua per a obtenir-la saludable i de qualitat, s'han d'utilitzar aquells productes que, a part de ser eficients en la desinfecció, afectin el menor possible a la salut humana i a la del medi ambient, tècniques com les del ozó i el CO₂ que ara per ara semblen assolir aquest repte.

L'ozonització i també la utilització de CO₂ per a regular el pH es consideren perfectament viables alhora d'adaptar-les a una instal·lació convencional, com s'ha demostrat en les instal·lacions del SAF. Si bé el seu cost econòmic és difícil d'amortitzar, les avantatges que s'han identificat al llarg del projecte com l'augment de qualitat de l'aigua, l'augment de confortabilitat o la reducció dels impactes ambientals justifiquen la seva implantació.

En especial cal destacar l'avantatge més important que presenta la utilització de CO₂ en piscines; l'augment de la seguretat dels usuaris i treballadors, un dels aspectes més importants en parlar de piscines però que sovint s'oblida. Hi ha hagut força accidents greus de gas Cl₂ en combinar-se l'àcid clorhídric amb l'hipoclorit sòdic, el quals han obligat a desallotjar les piscines i les zones pròximes. Altres episodis bastant freqüents però que passen més desapercebuts són petites formacions de gas Cl₂ no tant importants i difícils d'explicar però en que també és necessari el desallotjament de la piscina (es deuen normalment a acumulacions puntuals de NaClO i HCl en canonades o altres zones). Tot aquest

¹ Alterar nocivament la puresa o les condicions normals d'una cosa o un medi per agents químics o físics

risc queda eliminat per complet amb la utilització de CO_2 en substitució de l'àcid clorhídric.

5.2 Propostes de futur

A partir de l'elaboració del present projecte i de la interpretació dels resultats obtinguts es proposa una sèrie de mesures amb la finalitat d'ajudar a obtenir un millor rendiment de les instal·lacions de les piscines del SAF així com un augment de la confortabilitat i de respecte amb el medi ambient per a la resta de piscines cobertes que encara treballen amb mètodes convencionals. Així mateix, a partir de l'experiència de les pròpies anàlisis realitzades també es proposen noves idees que seria interessant aplicar en possibles estudis posteriors.

5.2.1 Instal·lacions del Servei d'Activitat Física de la UAB

Optimització del sistema del CO_2 al SAF

Per al problema del sobreconsum de CO_2 que existeix actualment a les piscines del SAF es proposa un canvi de la consigna del valor de pH que té programat la sonda i al que comença a addicionar-se el reductor de pH. Així doncs, es proposa passar del valor actual de pH 7,2 a un valor de 7,5.

Amb aquesta mesura i gràcies a l'estudi que s'ha efectuat sobre les espècies del sistema de carbonats presents en l'aigua, es creu que el consum de CO_2 es reduirà bastant, tot i que ara per ara no s'ha quantificat aquesta disminució.

Paral·lelament a aquesta mesura, la qual ja s'està portant a terme, es proposa un bypass entre l'addició de CO_2 a l'aigua i l'entrada d'aquesta a la piscina. Es tractaria d'incorporar un reactor tancat en el qual l'aigua hi romandria fins afavorir al màxim la reacció de formació de $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ a H_2CO_3 .

Amb aquesta darrera mesura s'asseguraria que més quantitat de CO_2 hagi reaccionat evitant-se així la pèrdua de CO_2 a l'atmosfera que es dona en el vas de piscina.

Control de paràmetres ambientals al SAF; el pH

Una altre proposta, amb la finalitat d'obtenir un control més exhaustiu d'un paràmetre tant important com és el pH, consisteix en o bé mesurar-lo en diferents punts o bé en canviar la ubicació de la sonda, tot i que aquesta última es considera inviable ja que la sonda de pH ha d'anar acompanyada de la sonda de clor lliure i es considera que la ubicació actual de la darrera sonda és la més apropiada.

Així doncs i donat que el major percentatge d'aigua que mesura la sonda actual de pH és de la superfície (aigua del pou de compensació), potser seria apropiat incorporar una sonda que mesuri el pH de l'aigua del fons de la piscina situada passats els filtres. Amb aquesta mesura es pretén obtenir uns valors de pH més representatius del total del volum d'aigua de la piscina.

Futurs estudis sobre les piscines

Ja que la intenció que hi ha és de seguir estudiant aquestes noves tècniques incorporades al SAF així com de continuar millorant diversos aspectes de la instal·lació, es proposa una sèrie de mesures a tenir en compte en pròxims estudis semblants al present i que van encaminades a obtenir millors resultats.

Amb l'objectiu d'aconseguir valors més representatius i poder afinar més en les conclusions sobre l'estudi del CO_2 , es planteja que la determinació d'àcid carbònic, bicarbonat i pH es realitzi no tan sols de l'aigua de superfície (com s'ha fet en el present projecte) sinó també del fons de la piscina.

Amb aquests resultats podria estudiar-se també les diferents condicions que es donen entre la superfície i el fons de la piscina. Per tant, també es proposa la determinació dels altres paràmetres tant en un lloc com en l'altre.

5.2.2 Resta de piscines cobertes

Després d'haver estudiat sobre la tècnica de l'ozó i haver arribat a les conclusions que s'han descrit es creu convenient una proposta a nivell general, la qual engloba a totes les piscines convencionals amb unes instal·lacions semblants a les que presentava la piscina d'estudi.

Vist els beneficis de caire ambiental que aporta aquesta tècnica en comparació amb els mètodes convencionals i sobretot l'augment de la confortabilitat i també la disminució del risc d'exposició als DBP clorats que suposa, es proposa que les piscines adoptin aquest sistema de depuració. Tot i el seu elevat cost, les avantatges que aporta en la qualitat de l'aigua de piscina han de ser suficients com per a que, com a mínim, s'estengui el coneixement i aplicació d'aquesta tècnica.

Comprovada l'eficàcia del CO_2 per a regular el pH de l'aigua i vista la seva viabilitat en quant a l'adaptació de la mateixa en un sistema de depuració de l'aigua com el del SAF, també es considera una tècnica digne de proposar a la resta de piscines, on els compostos de clor encara generen un risc inevitable en termes de seguretat i que, a més a més, causen molèsties als usuaris i a la salut del nostre entorn natural.

6. BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- ABSI, F. GAMACHE, R. GEHR, P. LIECHTI, AND J. NICELL. "Pilot plant investigation of ozone disinfection of physicochemically treated municipal wastewater". (www.ozonia.com/library/)
- ALEX, A. YAVICH, LEE, K., CHEN, K., PAPE, L., MASTEN, S.J. "Evaluation of biodegradability of NOM after ozonation". *Water Research* 38, 2839-2846, (2004)
- ASTRALPOOL. *Ozone at the Universidad Autònoma de Barcelona*
- BAIRD, C. *Química ambiental*. Ed. Reverté S.A., Barcelona (2001).
- BRILLAS, E., BASTIDA, R.M^a., CENTELLAS, F. i DOMENECH, X. *Fonaments de termodinàmica, electroquímica i cinètica*. Ed. Barcanova, Barcelona (1992)
- BOORMAN, G.A., DELLARCO, V., DUNNICK, J.K, CHAPIN, R. E., HUNTER, S., HAUCHMAN, F., GARDNER, H., COX, M., SILLS, R.C. "Drinking water Desinfection Byproducts: Review an Approach to Toxicity Evaluation". *Environmental Health Perspectives*. 107, S1, (1999)
- BATALLER, M., VÉLIZ, E. GUTIÉRREZ, M., FERNÁNDEZ, L.A., PÉREZ, R. ALVAREZ, C. "Aplicación del ozono en el tratamiento de aguas de piscina". *CENIC Ciencias Químicas*, 31, 2, (2000)
- COL·LEGI D'ENGINYERS TÈCNICS INDUSTRIALS DE BARCELONA. *Estudi de les condicions higienicosanitàries a l'aigua i l'aire de les piscines d'ús públic*. (2005)

- D.T.E. i HUNT A.L.WILSON. *The chemical analysis of water*. Ed. The Royal Society of Chemistry, Londres (1986)
- ESPIGARES, M. i PEREZ, J.A. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada (1985)
- FREIXA, A., GUARDINO, X., DROBNIC, F. "El nadador d'èlit, exposició al clor en piscinas cobertes". *APUNTS*, V. XXXII, 105, (1995)
- GOMÀ, A., QUNITANA, J., SOLER, J. "Subproductos de la desinfección en aguas recreacionales ozonizadas". *Tecnología del agua*. 259, 56-63, (2005)
- GOMÀ, A., *Depuración de agua lúdica, sistemas convencionales vs. Alternativos*. (2005)
- GOMÀ, A. *Informe sobre les condicions ambientals de la piscina del SAF*. (2004)
- GOMÀ, A., (2001). *Implantación de ozonización 100% en las piscinas de la Universitat Autònoma de Barcelona*.
- INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. *L'optimització energètica en les instal·lacions de les piscineas*.
- JENKINS. *Química del agua*. Ed. Limusa, Méjico (1997)
- JUDD, S.J., BULLOCK, G. "The fate of chlorine and organic materials in swimming pools". *Chemosfere* 51, 869-879, (2003)
- JUDD, S.J., BLACK, S.H. "Desinfection by-products formation in swimming pool waters: a simple mass balance". *Water Research*, 34 ,1611-1619, (2000)

- MARTÍ, J.M^a. *Tratamientos de aguas*. STENCO, Barcelona (2000)
- MARÍN GALVÍN, R. *Química, microbiología, tratamiento y control analítico de aguas*. Universidad de Córdoba (1996)
- RICH, T., "Boost ozone Sales Through Education". *Water Conditionig and Purification Magazine*, (1996)
- RODRÍGUEZ, F.J. *Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización*. Ed. Díaz de Santos, Madrid (2003)
- SERVEI D'EQUIPAMENTS ESPORTIUS DEL CONSELL CATALÀ DE L'ESPORT, "La depuració de l'aigua de les piscinas", *Full tècnic n° 18*, (2000)
- SERVEI D'EQUIPAMENTS ESPORTIUS DEL CONSELL CATALA DE L'ESPORT. L 'energia de les instal·lacions esportives. *Full tècnic n° 17*, (2000)
- SERVEI D'EQUIPAMENTS ESPORTIUS DEL CONSELL CATALÀ DE L'ESPORT "La piscina coberta", *Full tècnic n° 8*, (1997)
- SERVEI D'EQUIPAMENTS ESPORTIUS DEL CONSELL CATALÀ DE L'ESPORT "El cens d'equipaments". *Full tècnic n° 22*, (2001)
- SERVEI D'EQUIPAMENTS ESPORTIUS DEL CONSELL CATALÀ DE L'ESPORT "L'ozó en la desinfecció de l'aigua de la piscina". *Full tècnic 32*, (2003)
- SCOTTISH CENTRE FOR INFECTION AND ENVIORNMENTAL HEALTH "Chemicals in Drinking Water: Chloramines".

- URBANSKY, E.T., MAGNUSON, M.L. "Analyzing Drinking Water for Disinfection Byproducts". *Analytical Chemistry*, 261A, (2002)
- VENTURA, F., CANCHO, B. "Compostos orgànics generats en la desinfecció d'aigües potables". *Societat Catalana de Química*. 39-48, (2005)
- VILLANUEVA BELMONTE, C. *Subproductes de la desinfecció de l'aigua potable i càncer de bufeta urinària*. Tesis doctoral. UAB. (exemplar digital) (2003)
- WALTER, J.R. *Control de la calidad del agua. Procesos físicoquímicos*. Ed. Reverté, S.A. Barcelona (1979)
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines For Safe Recreational-Water Environments, Vol. 2. Swimming pools, spas and similar recreational-water environment*. (2000)

Pàgines internet

- http://www.ut.edu.co/fif/proyectos/psijcc/docs/stalleres/analisis_quim_suelo.doc
- <http://www.hidritec.com>
- http://www.crid.or.cr/crid/CD_Agua/pdf/spa/doc14572/doc14572-1.pdf
- <http://www.newton.dep.anl.gov/askasci/chem99/chem99661.htm>
- <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/contenido/capitulo14.html>
- <http://www.show.scot.nhs.uk/scieh/environmental/enviropdf/Chloramines.pdf>
- http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1214104090224//03Cgr03de06.pdf
- <http://www.adecagua.org>
- http://www.uv.es/metode/numero34/66_34.html
- www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc216.htm

- <http://www.lenntech.com>
- <http://www.filtragua.com>
- <http://www.ecoswim.com>
- <http://www.dobozono.com>
- http://www.ozonia.com/applications/pdf/ozonation_and_gac-e.pdf
- <http://www.todozono.com>
- <http://www.sensorex.com>
- <http://www.crison.com>
- <http://ww.gencat.net>

ANNEXES

ANNEX 1. LEGISLACIÓ

ANNEX 1. Legislació

A Espanya, la normativa de piscines és de caràcter autonòmic, de manera que les Comunitats Autònomes tenen la competència en quant a la regulació de les condicions higièniques i sanitàries de les piscines públiques (o d'ús col·lectiu). Així doncs, a Catalunya s'estableix la següent normativa:

- **Decret 95/2000, de 22 de febrer, pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic.** Tenen per finalitat garantir que les condicions de les piscines no tinguin un efecte negatiu sobre la salut i el benestar dels usuaris. Així, a més de regular algunes condicions de les construccions, les característiques de l'aigua i el seu tractament s'estableixen mesures per a garantir la seguretat i a minimitzar riscos pels usuaris. (DOGC nº 3092 del 6/03/2000)
- **Decret 165/2001, de 12 de juny, de modificació del Decret 95/2000, de 22 de febrer.** (DOGC nº 3417 del 26/06/2001)

És important destacar que existeix una variació important en els paràmetres sanitaris que avaluen la qualitat de l'aigua del vas entre les diferents Comunitats Autònomes. A continuació, s'ajunta la el decret 95/2000, de 22 de febrer, pel qual s'estableixen les normes sanitàries en piscines d'ús públic a Catalunya:

Decret 95/2000, de 22 de febrer, pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic

A les piscines d'ús públic existeixen uns riscos potencials que no poden ser controlats o modificats de manera substancial per l'acció individual. Aquesta dificultat justifica la necessitat d'establir una regulació sanitària que tendeix a garantir que les condicions de les piscines d'ús públic no tinguin un efecte negatiu sobre la salut i el benestar de les persones usuàries.

Amb aquesta finalitat, la Generalitat de Catalunya va dictar el Decret 193/1987, de 19 de maig, pel qual s'aprova el Reglament sanitari de piscines d'ús col·lectiu (DOGC núm. 852, de 15.6.1987). Tot i que gran part del contingut tècnic d'aquest Decret continua essent vàlid, es considera necessari revisar-lo, d'acord amb l'evolució conceptual experimentada en l'àmbit de la protecció de la salut durant aquests anys d'aplicació del Decret.

En aquesta línia, és bàsic considerar que els titulars de les piscines d'ús públic són els responsables de la seguretat i la salubritat en les seves instal·lacions, i a aquests efectes, han de posar els mitjans i el personal adients per tal de garantir la seguretat i la minimització de riscos. Per això, aquest Decret atribueix als titulars de les instal·lacions que ubiquen piscines d'ús públic, les tasques d'autocontrol dels riscos per a la salut, associats a les diferents activitats que s'hi poden desenvolupar.

La combinació de procediments d'autocontrol continuat per part dels responsables de les piscines, i de control oficial periòdic per part dels òrgans administratius competents que introdueixi aquest Decret, ha de permetre augmentar el nivell de protecció de la salut dels usuaris de les piscines.

Un altre aspecte en què fa incidència aquest Decret, és el de la corresponsabilitat de les persones usuàries d'aquest tipus de piscines en la minimització dels riscos. Amb la finalitat de facilitar aquest comportament responsable, es preveu que els titulars de les piscines d'ús públic proporcionin a les persones usuàries unes normes de règim intern, on es continguin les pautes de comportament adreçades a la prevenció dels accidents i al manteniment de la higiene a les instal·lacions, les quals s'exposaran en llocs estratègics perquè siguin de fàcil visibilitat i lectura per als usuaris.

El Decret es dicta d'acord amb l'article 43 de la Constitució espanyola, que reconeix el dret de tots els ciutadans a la protecció de la salut i la competència dels poders públics per organitzar i tutelar la salut pública, i l'article 24 de la Llei 14/1986, de 25 d'abril, general de sanitat, que regula la intervenció pública en les activitats públiques o privades que, directament o indirectament, puguin tenir

conseqüències negatives per la salut, i en exercici de les competències atribuïdes a la Generalitat de Catalunya en matèria de sanitat a l'article 17 de l'Estatut d'autonomia.

L'article 68 de la Llei 15/1990, de 9 de juliol, d'ordenació sanitària de Catalunya, atribueix als ajuntaments el control sanitari de les àrees d'activitat físicoesportiva i d'esbarjo, i la promoció de la protecció de la salubritat pública. D'altra banda, l'article 63 de la Llei 8/1987, de 15 d'abril, municipal i de règim local de Catalunya, posa de manifest que els municipis tenen competències en la seguretat en llocs públics, en la protecció de la salubritat pública i en les activitats i les instal·lacions culturals i esportives, l'ocupació del lleure i el turisme. En base a aquest context legal el present Decret atribueix als ajuntaments la competència d'autorització i control sanitari de les piscines d'ús públic instal·lades en el respectiu terme municipal.

Per tot el que s'ha exposat, d'acord amb el que disposen els articles 61 i 62 de la Llei 13/1989, de 14 de desembre, d'organització, procediment i règim jurídic de l'Administració de la Generalitat de Catalunya, vist l'informe de la Comissió de Govern Local de Catalunya, i d'acord amb el dictamen de la Comissió Jurídica Assessora, a proposta del conseller de Sanitat i Seguretat Social, i amb la deliberació prèvia del Govern.

Capítol 1

Objecte, àmbit d'aplicació i definicions

Article 1

1.1 Aquest Decret té per objecte establir les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic i regular les funcions de control i verificació del seu compliment.

1.2 Queden excloses de l'àmbit d'aplicació d'aquest Decret les piscines d'aigües termals i d'altres destinades a finalitats exclusivament medicinals, com també les piscines d'ús particular.

1.3 Els ajuntaments podran desenvolupar mitjançant reglament o ordenança, en exercici de les competències que els atribueix la normativa de règim local, els preceptes d'aquest Decret per tal de garantir les mesures de protecció a la salut que s'hi contenen i l'exercici de l'activitat de control municipal.

Article 2

A efectes d'aquest Decret s'entén per:

- Piscina: instal·lació que comporta l'existència d'un o més vasos artificials destinats al bany col·lectiu o a la natació, i els equipaments i serveis complementaris per al desenvolupament d'aquestes activitats.
- Piscines d'ús públic: totes les piscines de titularitat pública, i les de titularitat privada la utilització de les quals està condicionada al pagament d'una quantitat en concepte d'entrada o de quota d'accés, directa o indirecta, així com totes aquelles que no són d'ús particular.
- Piscines d'ús particular: piscines unifamiliars o de comunitats de veïns d'ús privatiu per al seus titulars.
- Zona de bany: espai que inclou el vas o vasos de la piscina, la zona de platja i el solàrium.
- Zona de platja: superfície que circumda i dona accés al vas o vasos de la piscina.
- Aforament: nombre de persones que en un mateix espai de temps es troben en les instal·lacions de la piscina.
- Aforament màxim: nombre màxim de persones que poden utilitzar al mateix temps les instal·lacions de la piscina, sense que se'n derivi un increment del risc no controlable per a la seva salut i seguretat. Aquest aforament màxim ha de garantir, també, el benestar dels usuaris permetent una utilització còmoda de les instal·lacions.
- Socorrista: persona que acrediti una titulació en matèria de socorrisme i salvament aquàtic, i coneixements d'atenció sanitària immediata, d'acord amb la normativa aplicable.

Capítol 2

Instal·lacions i serveis

Article 3

Les característiques de les instal·lacions i els serveis annexos de les piscines han de garantir la prevenció de riscos sanitaris i d'accidents i afavorir el benestar dels usuaris.

Secció 1

Característiques generals

Article 4

4.1 Les superfícies de tots els elements que integren les instal·lacions i els equipaments de la piscina han de ser de materials resistents als agents químics, de color clar i de fàcil neteja i desinfecció. En la construcció d'aquests elements no es poden utilitzar materials susceptibles de constituir-se en substrat per al creixement microbià.

4.2 Els paviments, les superfícies de pas dels trampolins, les palanques i les escales, han de construir-se amb materials antilliscants. Els paviments han d'estar dotats de desguassos i el seu disseny ha de garantir la inclinació suficient per evitar la formació de tolls.

4.3 Els elements metàl·lics de les instal·lacions han de ser de materials resistents a l'oxidació.

4.4 Les instal·lacions han de disposar del nombre de boques d'aigua suficient per permetre una neteja correcta del conjunt de totes aquestes.

4.5 Les instal·lacions elèctriques de les piscines han de complir les normes de seguretat que els siguin d'aplicació. Els endolls i els interruptors han de tenir la protecció adequada i estar situats a una alçada suficient per tal d'evitar la manipulació de qualsevol usuari.

4.6 En totes les àrees i dependències de les instal·lacions s'ha de disposar de punts d'il·luminació suficients per permetre desenvolupar l'activitat a què es destinen. Aquests punts d'il·luminació han d'estar protegits front de les ruptures.

Secció 2

Característiques dels vasos

Article 5

5.1 El fons dels vasos ha de tenir la pendent necessària per permetre'n el buidatge total. Els canvis de pendent han d'establir-se en la progressió escaient per a la prevenció d'accidents. En els vasos es col·locaran rètols d'avís als usuaris indicant la fondària mínima i màxima i els canvis de pendents.

5.2 Les superfícies de les parets i terres s'han de construir amb materials impermeables, i els angles d'unió han de ser arrodonits. Els fons dels vasos destinats a infants i d'aquells que per la seva poca profunditat permetin caminar, han de ser antilliscants, per tal d'evitar accidents.

5.3 En el fons dels vasos s'han de preveure els desguassos que permetin el buidatge total d'aigua. Com a mínim un cop a l'any s'ha de procedir al buidatge total de la piscina per a una completa neteja i desinfecció de les parets i el terra de la piscina. Els desguassos han d'estar adequadament protegits mitjançant reixes de seguretat que no puguin ser retirades sense eines específiques o sistemes similars de protecció. Així mateix, han de disposar de sistemes antiremolí o altres sistemes adequats per evitar fenòmens de turbulència i/o succió que puguin ser causa d'accident.

5.4 La part interna dels vasos ha d'estar lliure d'elements que puguin ocasionar accidents als usuaris i dificultar la circulació de l'aigua.

5.5 És obligatori disposar d'un sistema de recollida contínua que permeti la recirculació uniforme de la totalitat de la làmina superficial de l'aigua. El cabdal d'aigua recirculada ha de permetre que l'aigua compleixi les característiques assenyalades en el capítol 3 d'aquest Decret.

5.6 Els vasos destinats a la utilització exclusiva dels infants han d'estar separats dels vasos per a utilització d'adults, de manera que els infants no puguin accedir involuntàriament a altres vasos.

Secció 3

Equipaments

Article 6

En cada vas s'han d'instal·lar escales d'accés en nombre suficient per evitar riscos i molèsties als usuaris. El seu disseny ha de garantir la comoditat i seguretat dels usuaris.

Article 7

Les zones de platja han d'estar lliures d'impediments i la seva amplada ha de permetre un accés fàcil al vas per tots els costats. El disseny d'aquestes zones ha de preveure que l'aigua que s'hi escorri, inclosa l'aigua pluvial, s'evacui cap als desguassos, sense que pugui penetrar en el vas.

Article 8

Les zones de platja han de disposar de dutxes en nombre suficient per permetre'n una utilització còmoda per part dels usuaris. Aquestes dutxes han d'estar equipades amb desguassos.

Article 9

Les diferents àrees i dependències de les instal·lacions han d'estar equipades amb un nombre suficient de papereres.

Article 10

És prohibida la construcció de canalets rentapeus perimètrics als vasos. Els pediluvís que es puguin construir com a instal·lacions complementàries han de garantir un flux continuat d'aigua, amb poder desinfectant i no recirculable.

Article 11

S'ha d'assegurar una ventilació suficient en totes les dependències de les instal·lacions. Les piscines cobertes han de disposar dels mecanismes necessaris per assegurar la renovació constant de l'aire en el recinte, garantint una temperatura i humitat relativa adient. Als efectes de control d'aquests extrems disposaran, almenys, d'un termòmetre i d'un higròmetre situats a la zona de platja.

Article 12

Amb la finalitat de prevenir accidents, es prohibeix la utilització de trampolins, palanques i tobogans en les àrees on es permeti simultàniament el bany. L'ús d'aquests elements es restringeix a aquelles piscines o zones de les mateixes acotades i reservades per aquesta finalitat, i és subjecta a limitació horària. També es prohibeix l'ús de material que dificulti la vigilància i la visibilitat de la zona de bany. En les zones i durant els horaris en què es permeti l'ús d'aquests elements s'han d'extremar les mesures de vigilància.

Article 13

Totes les piscines han de disposar almenys d'un local amb una farmaciola equipada amb material suficient, segons l'aforament màxim autoritzat de la piscina, per poder garantir l'assistència de primers auxilis als usuaris, telèfon i rentamans proper i estar equipada amb una llitera practicable i una llitera rígida. La ubicació de les farmaciols ha de permetre facilitar en l'accés i en l'evacuació dels accidentats i ha d'estar convenientment senyalitzada.

Article 14

Les zones de platja han de disposar de salvavides proveïts d'una corda de longitud adequada, en nombre suficient i en una ubicació visible i de fàcil accés. També es pot preveure utilitzar altre material de salvament adequat. Aquests equipaments estaran sota la responsabilitat del servei de salvament i socorrisme.

Secció 4

Serveis

Article 15

És obligatòria l'existència de vestuaris, que han d'estar dotats d'un nombre suficient de dutxes, lavabos i vàters, dels quals com a mínim un estarà adaptat a usuaris amb discapacitats físiques. La dimensió d'aquests serveis s'adequarà a l'aforament màxim autoritzat. Els lavabos de les piscines han de disposar d'aigua corrent, paper higiènic, tovalloles d'un sol ús i dosificadors de sabó; les dutxes disposaran d'aigua calenta i freda.

Article 16

En l'autorització de piscines integrades en altres tipus d'equipaments, de caire esportiu, recreatiu o turístic, entre d'altres, que disposin de vestuaris i/o farmaciola, aquestes dependències seran objecte de valoració conjunta, sempre que reuneixin les condicions que s'assenyalen en aquest Decret.

Article 17

Les piscines han de disposar d'un servei de salvament i socorrisme d'acord amb l'aforament màxim, el nombre i la visibilitat dels vasos i les activitats que s'hi realitzen, de manera que sempre es pugui garantir la seguretat dels usuaris. La previsió del nombre de socorristes per a un determinat període de temps estarà documentada, sota la responsabilitat del titular de les instal·lacions, amb indicació de la identitat del personal, degudament format, encarregat d'aquest servei i l'horari de desenvolupament de la seva funció. En aquest mateix document hi constarà també la previsió d'aforament, per períodes de temps de cada temporada d'obertura. Els socorristes han de poder ser identificats de manera fàcil pels usuaris de la piscina. El personal d'aquest servei haurà d'enregistrar les assistències prestades als usuaris de la piscina.

Capítol 3

L'aigua

Secció 1

Característiques

Article 18

18.1 L'aigua de les piscines ha de procedir, preferentment, d'una xarxa de distribució pública. Es podran utilitzar aigües d'altres orígens que presentin característiques sanitàries equivalents, prèvia l'autorització per part de l'ajuntament corresponent.

18.2 Als efectes autoritzadors previstos a l'apartat anterior, correspon als titulars de les piscines presentar la corresponent sol·licitud. Transcorregut un mes des de la data d'aquesta presentació, sense que l'òrgan municipal competent hagi resol la sol·licitud, s'entendrà estimada.

Article 19

L'aigua dels vasos ha de ser filtrada, desinfectada i amb poder desinfectant, i complir, en tot cas, les següents característiques:

- No ser irritant per als ulls, la pell i les mucoses. Estar lliure de microorganismes patògens.
- No fer perceptible la presència de sòlids en suspensió, escumes, olis o greixos.

Article 20

Per al seguiment de les correctes condicions fisicoquímiques i microbiològiques de l'aigua, es fixen els criteris següents:

- Paràmetre: marges mínims i màxims.
- Nivell de pH: 7,0-7,8.
- Clor lliure* (in situ): 0,5-2 ppm (en punts equidistants).
- Clor combinat* (in situ): 0,6 ppm (en punts equidistants).
- Brom total*: 3-6 ppm (en punts equidistants).
- Biguanides*: 25-50 ppm.
- Àcid isocianúric*: < 75 ppm.
- Ozó: vas 0 ppm (en punts equidistants).
- Abans de la desozonització 0,4 ppm.
- Transparència sense banyistes: veure el fons des de qualsevol punt de la piscina (amb l'aigua en repòs).
- Temperatura de l'aigua (només en piscines climatitzades): 24-30 °C.

- Temperatura de l'aire (només en piscines cobertes). Mesurat a 1 metre d'alçada sobre la làmina d'aigua:
entre dos i quatre graus més elevada que la temperatura de l'aigua del vas.
- Humitat (només en piscines cobertes): 60-70%.
- Oxidabilitat al permanganat: no podrà superar en 4 ppm la corresponent a l'aigua d'entrada, podent-se considerar aquest valor d'acord amb el tipus de tractament.
- Amoníac (NH₄⁺): ≤ 0,5 ppm.
- Coliformes fecals, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* i altres patògens: absència.
- *En cas d'utilitzar productes, per a la desinfecció de l'aigua, amb contingut d'aquestes substàncies.

D'acord amb els nous coneixements científics sobre els riscos associats a l'aigua i a les noves tecnologies del tractament de l'aigua, per ordre del conseller de Sanitat i Seguretat Social es podran modificar els paràmetres i els marges establerts en aquest article.

Secció 2

Tractament

Article 21

Els equips de tractament de l'aigua han de poder garantir que els vasos de les piscines disposin en tot moment d'una aigua de les característiques assenyalades en els articles 19 i 20 d'aquest Decret.

Article 22

22.1 L'aigua dels vasos ha de renovar-se contínuament durant el període d'obertura al públic de la piscina, bé per recirculació, prèvia depuració, bé per entrada d'aigua nova. Aquesta circulació de l'aigua ha de permetre una renovació total de la mateixa i alhora assegurar el compliment de les previsions dels articles 19 i 20 d'aquest Decret.

22.2 Els vasos han de disposar d'un sistema de control de l'aportació d'aigua nova i de l'aigua recirculada.

Article 23

23.1 Per al tractament de l'aigua de les piscines s'han d'utilitzar substàncies i productes autoritzats d'acord amb la normativa vigent.

23.2 Per a l'addició de productes químics per al tractament sistemàtic de l'aigua, s'ha de disposar de sistemes de dosificació que funcionin conjuntament amb el sistema de circulació, i que permetin, si és necessari, la dissolució total dels productes utilitzats per al tractament, que en cap cas, es podran afegir directament als vasos. La utilització de sistemes de desinfecció que no tinguin efecte residual exigeix sempre l'addició d'un desinfectant, amb efecte residual.

23.3 Les determinacions del nivell del desinfectant residual utilitzat, pH i transparència de l'aigua es realitzarà un mínim de dues vegades al dia, en els moments d'obertura de la piscina i de màxima confluència De públic. En les piscines cobertes es controlarà, també, la temperatura de l'aigua.

Article 24

Els productes per al tractament de l'aigua dels vasos, i els productes i estris per a la neteja i desinfecció de les instal·lacions, s'han de guardar en un local amb aquest ús exclusiu, ventilat i exclòs de l'accés dels usuaris. En cas d'utilització de clor líquid o en forma de gas, s'haurà de preveure la seva situació en una zona separada. Aquest local ha de poder romandre tancat amb clau.

Capítol 4

Autocontrol

Article 25

Els titulars de les piscines d'ús públic són els responsables del funcionament, el manteniment, la salubritat i la seguretat de les piscines, en compliment del què disposa aquest Decret. A aquests efectes, durant el període d'obertura al públic de la piscina han de garantir la presència d'un responsable del manteniment i el correcte funcionament de les instal·lacions.

Article 26

Els titulars de les piscines han d'identificar qualsevol aspecte de les seves instal·lacions i de les activitats que s'hi desenvolupin, que sigui determinant per garantir la seguretat dels usuaris. També, és responsabilitat dels titulars de les piscines la planificació, la implementació, l'avaluació i la revisió de sistemes

eficaços de control de tots els punts i activitats generadors o potencialment generadors de risc.

Article 27

27.1 Els titulars de les piscines han de basar la vigilància del compliment de les previsions contingudes en aquest Decret, en l'aplicació d'un autocontrol conforme s'assenyala a l'article anterior.

27.2 Els resultats i les incidències que generi aquest autocontrol han de quedar registrats documentalment, de manera que en qualsevol moment es pugui fer un seguiment retrospectiu dels mateixos. Aquesta documentació estarà a disposició dels serveis d'inspecció i s'haurà de custodiar, a disposició de l'autoritat competent, durant un termini no inferior a dos anys.

27.3 Els darrers controls sobre la qualitat de l'aigua s'exposaran en un lloc visible i fàcilment accessible als usuaris. Així mateix, a l'entrada dels serveis hi figurarà, en un lloc visible, l'horari de la darrera neteja.

Article 28

El sistema d'autocontrol ha d'incloure, com a mínim, els següents plans:

- Pla de neteja i desinfecció de totes les instal·lacions.
- Pla de tractament de l'aigua dels vasos en què s'ha de fer constar el producte o productes que s'utilitzen; les fitxes de seguretat d'aquests productes; la forma d'aplicació i els controls que es realitzen per tal d'assegurar les característiques de l'aigua assenyalades en els articles 19 i 20.
- Pla de desratització i de desinsectació, amb les previsions de seguretat per a la seva aplicació que calguin, per tal d'evitar riscos als usuaris de les piscines.
- Pla de formació del personal de manteniment en les matèries relacionades amb aquest article.
- Planificació de les anàlisis microbiològiques de l'aigua necessàries per conèixer les seves condicions sanitàries: freqüència de les anàlisis, punts de mostreig i tipus d'anàlisis, entre d'altres factors.
- En les piscines cobertes, pla de neteja i manteniment del sistema de ventilació i calefacció que impliqui control de la temperatura i la humitat ambiental.

Article 29

29.1 Les instal·lacions de piscines han de disposar d'unes normes de règim intern per les persones usuàries, les quals seran d'obligat compliment i s'exposaran en lloc visible i fàcilment accessible per aquestes persones, sens perjudici dels cartells i rètols que estiguin distribuïts en les diferents zones de les instal·lacions. Aquestes normes de règim intern han de contenir, com a mínim, les següents

indicacions: l'obligació d'utilitzar les dutxes abans del bany a la piscina; la prohibició d'accedir amb calçat de carrer i de fumar i menjar en la zona de platja, i la no admissió d'animals domèstics. Igualment, es donaran pautes de comportament quant a les activitats que es poden desenvolupar en les instal·lacions.

29.2 Els titulars de les piscines podran expulsar del seu recinte aquelles persones que incompleixin les normes de règim intern i les pautes de comportament a què fa referència l'apartat anterior, un cop advertides prèviament.

Capítol 5

Autoritzacions i inspeccions sanitàries

Article 30

30.1 Als efectes de la verificació del compliment de les normes sanitàries previstes en aquest Decret, els expedients de construcció i reforma de les piscines d'ús públic estan subjectes al tràmit d'autorització administrativa.

30.2 Correspon als ajuntaments l'autorització de les piscines que s'ubiquin en el seu terme municipal, com també l'exercici de les competències de vigilància i control en aquesta matèria.

30.3 El Departament de Sanitat i Seguretat Social podrà comprovar l'aplicació homogènia d'aquest Decret en l'àmbit de Catalunya, mitjançant la realització d'inspeccions periòdiques d'un nombre de piscines d'ús públic que sigui estadísticament representatiu, en col·laboració amb els serveis municipals corresponents. A aquests efectes la resolució dels expedients municipals d'autorització es comunicarà a l'òrgan territorial corresponent del Departament de Sanitat i Seguretat Social.

Article 31

31.1 La documentació que s'ha d'adreçar a l'ajuntament corresponent per a l'autorització dels expedients de construcció i reforma de piscines d'ús públic ha d'incloure, com a mínim, les dades següents:

- Descripció detallada de les instal·lacions on es faci constar expressament el sistema de tractament de l'aigua.
- Informe sobre la previsió d'aforament màxim.
- Descripció del servei de salvament i socorrisme d'acord amb l'aforament previst.
- Descripció de tots els punts i activitats generadors o possibles generadors de risc, i dels sistemes

d'autocontrol que s'aplicaran per garantir la seguretat de les persones usuàries.

- Proposta de normes de règim intern i indicació dels mitjans que s'utilitzaran per posar-les en coneixements de les persones usuàries.

31.2 L'òrgan competent municipal podrà sol·licitar aquelles dades addicionals que siguin rellevants per verificar el compliment de les normes sanitàries establertes en aquest Decret.

Article 32

32.1 L'òrgan municipal competent podrà tancar cautelament les instal·lacions que no comptin amb l'autorització prevista a l'article 30 d'aquest Decret. Igualment, en cas que constati un incompliment de les condicions sanitàries establertes en aquest Decret, i fins que no s'esmenin els defectes o es compleixin els requisits previstos en aquest Decret, podrà adoptar les mesures cautelars següents:

a) Limitar l'ús de les instal·lacions per a un determinat aforament.

b) Suspendre temporalment el funcionament de les instal·lacions.

32.2 L'adopció de les mesures previstes en l'apartat anterior no té caràcter de sanció.

Article 33

33.1 Les piscines d'ús públic estan sotmeses al control sanitari dels ajuntaments corresponents.

La freqüència del control de les instal·lacions estarà en funció de la dimensió de la instal·lació, de l'aforament, de les garanties que ofereixi el sistema d'autocontrol establert, i del risc avaluat de les instal·lacions. Als efectes d'aquest control, els titulars de piscines que estiguin obertes al públic en períodes determinats de l'any han de comunicar a l'ajuntament corresponent la data d'obertura de cada temporada.

33.2 En exercici d'aquesta activitat de control, els ajuntaments han d'analitzar regularment els resultats de l'autocontrol realitzat pels titulars de les instal·lacions, i podran disposar que es realitzin exàmens complementaris de control.

33.3 L'autoritat competent tindrà lliure accés a totes les dependències de les piscines d'ús públic, amb la finalitat de comprovar el compliment de les prescripcions d'aquest Decret.

Article 34

Per al desenvolupament de les seves funcions de control, els ajuntaments poden sol·licitar el suport tècnic a l'òrgan territorial corresponent del Departament de Sanitat i Seguretat Social.

Article 35

Les actuacions regulades en aquest capítol s'entenen sens perjudici de les autoritzacions i/o intervencions que correspongui atorgar o realitzar a l'ajuntament en aplicació d'altres normes, i s'integraran, si escau, en el procediment de tramitació de la llicència ambiental, regulat a la Llei 3/1998, de 27 de febrer, d'intervenció integral de l'administració ambiental.

Capítol 6

De les infraccions i sancions

Article 36

36.1 Les infraccions a les prescripcions del present Decret són sancionables de conformitat amb allò establert en el capítol VI del títol I, articles 32 a 36, de la Llei 14/1986, de 25 d'abril, general de sanitat.

36.2 De conformitat amb l'apartat anterior, es tipifiquen com a infraccions sanitàries en matèria de piscines les següents:

a) Infraccions lleus:

- La simple irregularitat de l'observació del que es preveu en aquest Decret, sense transcendència directa per a la salut pública.- La simple negligència en el manteniment, funcionament, control de les instal·lacions i en el tractament de l'aigua, quan l'alteració o risc sanitari produïts siguin de poca entitat.
- Les irregularitats en el compliment del que es preveu en aquest Decret que no mereixen la qualificació de faltes greus o molt greus.

b) Infraccions greus:

- La falta absoluta de control i observació de les degudes precaucions en el funcionament de les instal·lacions. A aquests efectes es considerarà falta absoluta de control la no realització de les activitats previstes als articles 25 a 29 d'aquest Decret, ambdós inclosos.
- L'incompliment dels requeriments específics formulats per l'autoritat sanitària competent pel que fa a les instal·lacions i els requisits de l'aigua, el seu tractament i control, vigilància i règim l'obertura de la piscina, sempre que es produeixin per primera vegada.
- Les infraccions a les prescripcions d'aquest Decret que siguin concurrents amb altres infraccions lleus o hagin servit per facilitar o encobrir la seva comissió.
- La resistència a subministrar dades, facilitar informació o prestar col·laboració a les autoritats sanitàries en la matèria regulada per aquest Decret.

- La reincidència en la comissió d'infraccions lleus en els últims tres mesos.

c) Infraccions molt greus:

- Les infraccions a les prescripcions d'aquest Decret que realitzades de forma conscient i deliberada produeixin un dany greu als usuaris de les piscines.
- Les infraccions a les prescripcions d'aquest Decret que siguin concurrents amb altres infraccions greus o hagin servit per facilitar o encobrir la seva comissió.
- L'incompliment reiterat dels requeriments específics formulats per l'autoritat sanitària competent.
- La negativa absoluta a facilitar informació o prestar col·laboració als serveis de control i inspecció.
- La resistència, coacció, amenaça, represàlia, desacatament o qualsevol altra forma de pressió exercida sobre les autoritats sanitàries o els seus agents.
- La reincidència en la comissió de faltes greus en els últims cinc anys.

36.3 De conformitat amb el que estableix l'article 37 de la Llei 14/1986, de 25 d'abril, general de sanitat, les autoritats sanitàries competents podran adoptar la mesura de clausura de les instal·lacions que no comptin amb les prèvies autoritzacions preceptives, o de suspensió del seu funcionament fins que no s'esmeni el efecte o es compleixin els requisits exigits per raons de sanitat, higiene o seguretat. Aquesta mesura no tindrà caràcter de sanció.

Article 37

37.1 Són òrgans competents per a la imposició de les sancions, els següents:

- a)** Els alcaldes de municipis de menys de 25.000 habitants i els delegats territorials del Departament de Sanitat i Seguretat Social, en cas de multa fins a 2.000.000 de pessetes.
- b)** Els alcaldes de municipis de més de 25.000 habitants i el director general de Salut Pública, en cas de multa fins a 5.000.000 de pessetes.
- c)** El conseller de Sanitat i Seguretat Social, en cas de multa fins a 10.000.000 de pessetes.
- d)** El Govern de la Generalitat, en cas de multa superior a 10.000.000 de pessetes.

37.2 Als òrgans i les autoritats esmentats a l'apartat anterior els correspon, igualment la facultat d'incoar els expedients sancionadors.

37.3 L'acord d'incoació d'expedients sancionadors per part dels òrgans del Departament de Sanitat i Seguretat Social es comunicarà, al mateix temps que als interessats, a l'ajuntament corresponent.

ANNEX 2. NOTÍCIES

ANNEX 2. Notícies

A continuació, es mostra alguns exemples reals dels problemes causats per errors de manipulació o mescles accidentals dels productes químics manipulats en les piscines on es fa evident la toxicitat dels mateixos, concretament la del gas clor. Aquests exemples consisteixen en tres notícies extretes de diaris digitals.

❖ *INFORMATIVOS CanalSur, 6 de juliol de 2006 (www.rtva.es)*

“Seis niños han resultado intoxicados por la emanación de cloro en una piscina de Fernán Núñez. Una alteración puntual en el dosificador de cloro de la piscina municipal de Fernán Núñez se baraja como principal hipótesis de la intoxicación de seis niños ayer tarde en esta localidad cordobesa. Uno de los pequeños, una niña de tres años, ha permanecido ingresada esta noche pasada en el Hospital de Montilla.

Los responsables de la piscina municipal de Fernán Núñez siguen investigando el motivo por el que ayer tarde se produjo un repentino incremento en el nivel de cloro del agua, un hecho que provocó la intoxicación de seis de los niños que se encontraban en el agua. El más preocupante fue una niña de tres años que fue derivada en ambulancia al Hospital de Montilla, donde ha pasado la noche.

Diversos controles en el agua desde ayer tarde, que han arrojado resultados positivos, han propiciado que las instalaciones abran con toda normalidad.

La investigación determinará el motivo por el que se produjo ese incremento en el nivel de cloro. Cinco de los intoxicados no precisaron de ingreso hospitalario si bien una niña de tres años sí debido a que su estado lo requería. (....)”

❖ *DIARIO DE NOTÍCIAS, 11 de juliol de 2006*

(www.diariodenoticias.com)

“ Intoxicación leve de siete usuarios de las piscinas de Elizondo. El accidente ocurrió cuando un empleado mezcló dos productos por error. Una joven tuvo que ser trasladada al centro de salud de la zona y luego a pamplona por problemas respiratorios.

PAMPLONA. Siete usuarios de las piscinas municipales de Elizondo (valle de Baztan) sufrieron el pasado lunes una intoxicación de carácter leve tras formarse en estas instalaciones una nube irritante originada tras mezclar accidentalmente hipoclorito con ácido clorhídrico.

Los hechos se produjeron sobre las 20.30 horas, cuando en las instalaciones había una veintena de personas. Los primeros datos indican que el encargado del mantenimiento de la piscina tuvo una equivocación a la hora de elegir el bote correcto para echar su contenido al vaso. Como el empleado llevaba la correspondiente mascarilla de protección, no pudo darse cuenta de que el producto no era el adecuado, ya que a continuación se creó una pequeña nube tóxica que fue la causante en último extremo de la leve intoxicación de los usuarios.

Tras tener conocimiento de los hechos, hasta el lugar fueron movilizadas dotaciones de la Policía Municipal, la Policía Foral, el Consorcio de Bomberos de Navarra y personal sanitario de esta zona básica, que atendieron en el mismo lugar a siete usuarios que presentaban irritaciones o problemas respiratorios leves.

Tras retirar los productos nocivos, los efectivos del Consorcio cerraron las instalaciones del centro, que durante toda la noche mantuvo sus puertas abiertas para terminar con cualquier resto de sustancia contaminante.

Una de estas usuarias, afectada en un grado mayor, una mujer de 35 años, tuvo que ser trasladada al Centro de Salud de Elizondo para una revisión médica, siendo finalmente derivada al Hospital Virgen del Camino, en Pamplona, donde tras ser sometida a un chequeo fue dada de alta. Las instalaciones se abrieron hace unos dos años y están gestionadas por una empresa de Pamplona.”

❖ *EL PAÍS*, 30 de juny de 2006 (www.elpais.es)

“Un escape de cloro en Algeciras obliga el desalojo de siete edificios, dos colegios y los juzgados. Siete personas, atendidas por intoxicación al inhalar el gas procedente de un polideportivo.

Un escape de cloro líquido ocurrido en las instalaciones del Polideportivo El Calvario, en el barrio de La Reconquista en Algeciras (Cádiz), provocó ayer intoxicaciones leves a cuatro trabajadores de la empresa GSC, concesionaria del servicio de parques y jardines de esta ciudad, y a dos personas de avanzada de edad y un menor que resultaron también intoxicados por inhalación del gas. Además, siete bloques de pisos fueron evacuados durante más de dos horas, así como la sede de los juzgados de Algeciras y LOS colegios Virgen de la Esperanza y Santa Teresa, donde no había alumnos.

Según informaron fuentes municipales, los trabajadores, que se encontraban podando los jardines próximos al lugar en el que se originó el vertido, tuvieron que ser evacuados al Hospital Punta Europa al presentar fuertes picores en ojos, nariz y garganta, tras sufrir una intoxicación leve a raíz del escape de cloro.

Junto a los empleados también tuvieron que ser atendidas por unidades de la empresa pública de emergencias sanitarias 061 otras seis personas, de las que al menos una mujer de avanzada edad tuvo que permanecer hospitalizada durante varias horas al padecer problemas respiratorios.

El incidente se originó en las inmediaciones de la piscina del polideportivo municipal El Calvario, en el barrio de La Reconquista, pasadas las 12.00 del mediodía, momento en el que algunos vecinos de los edificios colindantes alertaron al 112 sobre la existencia de un fuerte olor que decían "podría ser lejía", el cual invadía el ambiente.

Una vez desplazados hasta la zona efectivos del consorcio provincial de bomberos, de la Policía Local y del Cuerpo Nacional de Policía, se decidió acordonar la zona próxima a las instalaciones deportivas. A los pocos minutos, fue localizado el origen del vertido que se situaba en dos botellas de cloro líquido que se encontraban abandonadas y oxidadas en las proximidades de la piscina municipal, dentro del complejo deportivo.

Fuentes del ayuntamiento de Algeciras aseguraron desconocer la existencia de ambas botellas y el por qué se encontraban en dicho

estado sin que se hubiese dado cuenta de ello a los responsables municipales.

Durante las labores de disolución del cloro líquido, la concejal delegada de Seguridad Ciudadana del ayuntamiento de Algeciras, Cristina Garrido ordenó el desalojo de siete bloques de viviendas que rodean las instalaciones deportivas, además de los colegios Virgen de la Esperanza y Santa Teresa, donde sólo se encontraban personal docente y administrativo por estar ya de vacaciones el alumnado, y los juzgados de la ciudad, donde también se podía apreciar el fuerte olor desprendido por las botellas de cloro líquido.

Tras dos horas de trabajo consistente en combatir el escape con agua por parte de dos unidades de bomberos, los agentes de los Cuerpos y Fuerzas de Seguridad del Estado decidieron permitir de nuevo el acceso a los bloques desalojados, reduciéndose el perímetro de actuación de los equipos de emergencia, que permanecieron en el lugar hasta que se logró disolver todo el cloro existente en la botella dañada. Ante la posibilidad de que pudiese producirse un episodio similar, los responsables del dispositivo de Seguridad decidieron contactar con una empresa especializada en la retirada de este tipo de productos para que retirase las dos botellas del lugar en el que se encontraban, al parecer desde hace años. (.....)”

ANNEX 3. PÀRAMETRES DE CONTROL MEDIAMBIENTALS

ANNEX 3. Paràmetres de control mediambientals

Per a garantir la salubritat de les aigües de piscina i minimitzar els impactes d'aquestes al medi ambient, s'estableixen una sèrie de paràmetres físics, químics i biològics determinants de qualitat que han de controlar-se periòdicament. Aquests paràmetres estan establerts per la legislació, la qual fixa uns nivells o rangs determinats per a cadascun d'ells.

Els paràmetres de control de qualitat de l'aigua es poden classificar en tres grans grups (organolèptics, fisicoquímics i microbiològics) i, a continuació, se'n presenten els principals:

Paràmetres organolèptics:

- Terbolesa
- Color
- Sabor
- Olor

Paràmetres fisicoquímics

- Temperatura (*)
- Clor / brom / ozó (*)
- pH (*)
- Conductivitat (*)
- Oxigen dissolt (*)
- Humitat (només en piscines cobertes)
- Amoníac
- Potencial redox
- Nitrats
- Coure

- Ferro

Paràmetres microbiològics i bacteriològics

- Coliformes fecals
- Staphylococcus aureus
- Pseudomona aeruginosa

(*) Aquest conjunt de paràmetres, donat que presenten un interès especial en el present projecte, es defineixen breument a continuació:

- **pH:** és la mesura del grau d'acidesa o alcalinitat d'una solució aquosa. Es defineix com el logaritme negatiu de la concentració d' ions H_3O^+ (o H^+).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

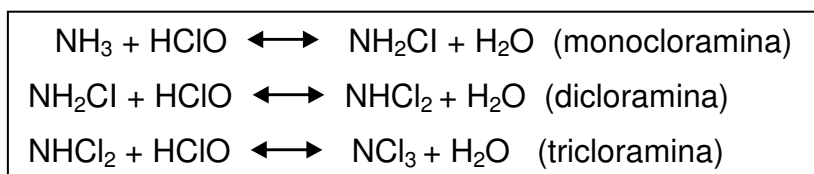
Una elevada concentració de protons (H^+) significa que l'aigua té un pH molt àcid i, al contrari, una molt baixa concentració de protons indica que la solució presenta un pH alcalí. El pH va del 0 al 14 i les solucions es consideren àcides amb pHs menors que 7 i bàsiques amb pHs majors a 7. El $\text{pH}=7$ es considera que la solució és neutre, ni àcida ni bàsica.

- **Oxigen dissolt (O.D.):** és fa servir com a indicador de la contaminació de l'aigua i mostra el seu grau d'oxigenació. La concentració d'oxigen dissolt en una solució depèn de la naturalesa del líquid i de les condicions de temperatura i pressió. Cada líquid absorbeix la quantitat d'oxigen necessària per a equilibrar la pressió parcial de l'oxigen dissolt amb la de l'aire o substància gasosa en contacte. Les unitats de mesura poden ser en % de saturació o en concentració (mg/l o ppm). La primera només mesura la pressió parcial de l'oxigen en la mostra i no depèn de la seva composició. La segona, en mg/l, sí té en compte la composició de la mostra.

- **Temperatura:** és una constant física que té gran importància en el desenvolupament d'alguns fenòmens que es realitzen a l'aigua i determina l'evolució o tendència de les seves propietats físiques, químiques i biològiques. Joga un paper important en la solubilitat de les sals i dels gasos i per tant, també en la conductivitat i pH. L'augment de la temperatura disminueix la solubilitat de l'oxigen i augmenta la velocitat de les reaccions.
- **Conductivitat:** capacitat d'un medi de conduir la corrent elèctrica. És una mesura de la concentració iònica que té una solució i, per tant, indicativa de la matèria ionitzable total present a l'aigua. La unitat de mesura és S/m (Siemens/metre).
- **Potencial redox:** indica el caràcter oxidant o reductor d'una substància, és a dir, la capacitat d'oxidar o de reduir a altres substàncies. Es mesura en volts o milivolts.
- **Clor lliure, clor combinat i clor total**

Clor lliure: el formen les espècies de clor (Cl_2), d'àcid hipoclorós (HClO) i el ió hipoclorit (ClO^-), presentant l'últim menor poder microbicida i oxidant que els dos primers.

Clor combinat: és el clor en forma de cloramines, productes resultants de la reacció del clor amb compostos amoniacals. Tenen poder desinfectant i bactericida però molt menor que el clor lliure. Es poden formar mono, di i tricloramines segons la relació de clor amb l'amoníac, el pH i la temperatura de l'aigua. Les reaccions que les produeixen són les següents:



Clor total: suma de la concentració de clor lliure i clor combinat.

A continuació, es mostra una taula resum dels nivells que marca la legislació a Catalunya en l'article 20 del Decret 95/2000 sobre els paràmetres anteriors:

	Mínim	Màxim
pH	7,0	7,8
Clor lliure (ppm)	0,5	2
Clor combinat (ppm)	0	0,6
Ozó al vas piscina (ppm) (*)	0	0
Temperatura aigua (°C)	24 °C	30 °C

Cal esmentar que els nivells dels diferents paràmetres establerts per la legislació varien segons la normativa de cada Comunitat Autònoma i que cap de les disset CCAA regula la concentració d'ozó, a excepció de Catalunya.

ANNEX 4. RECOPILACIÓ DE DADES

ANNEX 4. Recopilació de dades

A continuació es presenta el conjunt de valors obtinguts diàriament de tots els paràmetres analitzats i que s'han anat anotant en forma de taula.

Dia	Piscina ³	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. ¹ Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T ² (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
27-mar	G pH - Cl -	7,21	0,172	25,6	6,88	0,947	132,5	523,2	2,24	28,2	4,5	28,6	0,203	0,344	0,547
		7,09	0,179	26,7	6,88	0,958	134,1						0,313	0,284	0,597
		7,15	0,281	41,9	6,63	0,954	133,5								
		7,15	0,211	31,40	6,80	0,953	133,37						0,258	0,314	0,572
	P pH - Cl -	7,06	0,247	36,8	7,05	1,274	178,3	600,0	1,26	29,0	4,3	29,4	0,817	0,436	1,253
		7,09	0,206	30,7	7,00	1,258	176,0						-	-	-
		7,02	0,200	29,8	6,88	1,262	176,6								
		7,06	0,218	32,43	6,98	1,265	176,97						0,817	0,436	1,253
28-mar	G pH = 7,64 Cl = 0,58	7,18	0,151	22,5	7,05	0,932	130,4	392,9	2,18	28,7	4,4	28,3	0,260	0,290	0,550
		7,27	0,126	18,8	7,00	0,931	130,3						0,253	0,247	0,500
		7,26	0,129	19,2	7,06	0,928	129,9								
		7,24	0,135	20,17	7,04	0,930	130,20						0,257	0,269	0,525
	P pH = 7,22 Cl = 0,7	7,00	0,271	40,4	6,90	1,206	168,8	430,0	1,31	29,0	4,3	29,2	0,100	0,737	0,837
		6,95	0,253	37,7	6,86	1,227	171,7						0,253	0,567	0,820
		6,99	0,243	36,2	6,79	1,241	169,9								
		6,98	0,256	38,10	6,85	1,225	170,13						0,177	0,652	0,829
29-mar	G pH = 7,68 Cl = 0,58	7,32	0,282	42,0	7,12	0,920	128,7	567,0	2,14	28,2	4,8	27,9	0,393	0,430	0,823
		7,23	0,153	22,8	7,13	0,912	127,6						0,460	0,260	0,720
		7,19	0,126	18,8	7,03	0,911	127,5								
		7,25	0,187	27,87	7,09	0,914	127,93						0,345	0,427	0,772
	P pH = 7,33 Cl = 0,89	6,96	0,271	40,4	6,99	1,226	171,6	429,9	1,20	28,7	4,7	28,9	0,633	0,474	1,107
		6,96	0,232	34,6	6,90	1,221	170,9						0,607	0,500	1,107
		6,96	0,253	37,7	6,86	1,206	168,8								
		6,96	0,252	37,57	6,92	1,218	170,43						0,487	0,620	1,107

NOTA: Els nombres en negretes representen mitjanes.

¹ Potencial redox

² T; Temperatura

³ Els valors de pH i Cl que s'observen en aquesta columna fan referència al valor marcat per la sonda, on G ; piscina gran i P ; piscina petita.

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
30-mar	G pH = 7,69 Cl = 0,60	7,29	0,128	19,1	6,74	0,945	132,2	425,3	2,2	28	4,5	28,0	0,393	0,304	0,697
		7,23	0,125	18,6	6,92	0,932	130,4						0,277	0,29	0,567
		7,26	0,125	18,6	6,72	0,916	128,2								
		7,26	0,126	18,77	6,79	0,931	130,27						0,297	0,632	0,632
	P pH = 7,40 Cl = 0,89	7,09	0,204	30,4	7,09	1,233	172,5	436,3	1,21	28	4,6	29,5	0,55	0,537	1,087
		7,08	0,230	34,3	6,90	1,209	169,2						0,513	0,524	1,037
		7,05	0,226	33,7	6,89	1,222	171,0								
		7,07	0,220	32,80	6,96	1,221	170,90						0,532	0,531	1,062
31-mar	G pH = 7,72 Cl = 0,60	7,28	0,120	17,9	7,02	0,920	128,7	356,1	2,22	27,8	4,7	28,0	0,517	0,250	0,767
		7,30	0,125	18,6	7,01	0,917	128,3						0,467	0,270	0,737
		7,25	0,125	18,6	7,00	0,918	128,5								
		7,28	0,123	18,37	7,01	0,918	128,50						0,492	0,260	0,752
	P pH = 7,38 Cl = 0,87	7,01	0,227	33,8	7,04	1,208	169,0	463,4	1,19	28,6	4,4	29,1	0,220	0,780	1,000
		7,07	0,226	33,7	6,56	1,197	167,5						0,150	0,750	0,900
		7,06	0,213	31,7	6,83	1,213	169,7								
		7,05	0,222	33,07	6,81	1,206	168,73						0,185	0,765	0,950
03-abr	G pH = 7,42 Cl = 0,60	7,11	0,194	28,9	6,66	0,914	127,9	527,0	2,22	28,1	4,7	28,1	0,353	0,270	0,623
		7,02	0,202	30,1	6,68	0,922	129,0						0,320	0,290	0,610
		7,03	0,277	41,3	6,52	0,947	132,5								
		7,05	0,224	33,43	6,62	0,928	129,80						0,337	0,280	0,617
	P pH = 7,33 Cl = 0,95	6,86	0,262	39,0	6,84	1,208	169,0	416,2	1,25	29,2	4,5	29,4	0,497	0,670	1,167
		6,99	0,225	33,5	6,89	1,179	165,0						0,660	0,480	1,140
		6,91	0,226	33,7	6,73	1,193	166,9								
		6,92	0,238	35,40	6,82	1,193	166,97						0,579	0,575	1,154

		Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
Dia	Piscina	pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
04-abr	G pH = 7,56 Cl = 0,61	7,00	0,176	26,2	7,20	0,915	128,0	487,8	2,16	27,6	4,9	27,8	0,323	0,270	0,593
		7,04	0,157	23,4	6,71	0,894	125,1						-	-	-
		7,17	0,129	19,2	6,83	0,901	126,1								
		7,07	0,154	22,93	6,91	0,903	126,40						0,323	0,270	0,593
	P pH = 7,30 Cl = 0,89	7,10	0,234	34,9	6,87	1,209	169,2	583,3	1,20	28,2	4,6	28,5	0,463	0,637	1,100
		6,92	0,224	33,4	6,93	1,167	163,3						-	-	-
		6,95	0,207	30,9	6,76	1,202	168,2								
		6,99	0,222	33,07	6,85	1,193	166,90						0,463	0,637	1,100
05-abr	G pH = 7,61 Cl = 0,58	7,30	0,117	17,4	6,81	0,908	127,1	435,7	2,24	27,5	4,9	27,5	0,520	0,597	1,117
		7,26	0,122	18,2	6,91	0,930	130,1						0,490	0,537	1,027
		7,25	0,123	18,3	7,01	0,922	129,0								
		7,27	0,121	17,97	6,91	0,920	128,73						0,505	0,567	1,072
	P pH = 7,36 Cl = 0,89	7,03	0,212	31,6	7,07	1,173	164,2	509,4	1,26	28,5	4,6	28,7	0,203	0,404	0,607
		7,03	0,209	31,2	6,90	1,205	168,6						0,310	0,277	0,587
		7,06	0,214	31,9	6,89	1,187	166,1								
		7,04	0,212	31,57	6,95	1,188	166,30						0,257	0,341	0,597
06-abr	G pH = 7,79 Cl = 0,61	7,28	0,103	15,4	6,99	0,939	131,4	469,2	2,24	27,0	4,6	27,4	0,563	0,360	0,923
		7,29	0,105	15,6	7,00	0,926	129,6						0,487	0,293	0,780
		7,37	0,103	15,4	7,04	0,932	130,4								
		7,31	0,104	15,47	7,01	0,932	130,47						0,525	0,327	0,852
	P pH = 7,72 Cl = 0,69	7,30	0,151	22,5	7,31	1,230	172,1	556,0	1,19	27,5	4,4	28,4	0,697	0,743	1,440
		7,38	0,145	21,6	7,03	1,201	168,1						0,797	0,540	1,337
		7,37	0,124	18,5	7,17	1,193	166,9								
		7,35	0,140	20,87	7,17	1,208	169,03						0,747	0,642	1,389

		Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O2 dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
Dia	Piscina	pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
18-abr	G pH = 7,52 Cl = 0,60	7,12	0,216	32,2	6,64	0,887	124,1	552,6	2,24	28,0	4,6	27,7	0,393	0,334	0,727
		7,06	0,204	30,4	6,76	0,894	125,1						-	-	-
		6,81	0,279	41,6	-	-	-								
		7,00	0,233	34,73	6,70	0,891	124,60						0,393	0,334	0,727
	P pH = 7,33 Cl = 0,87	6,59	0,236	35,2	7,04	1,203	168,3	490,1	1,15	28,8	4,4	28,9	0,370	0,403	0,773
		6,68	0,251	37,4	-	-	-						-	-	-
		-	-	-	-	-	-								
			6,64	0,244	36,30	7,04	1,203	168,30						0,370	0,403
20-abr	G pH = 7,65 Cl = 0,61	7,34	0,152	22,7	6,61	0,925	129,4	410,9	2,27	27,8	4,7	27,9	0,243	0,387	0,630
		7,29	0,130	19,4	6,77	0,932	130,4						-	-	-
		7,17	0,135	20,1	6,77	0,961	134,5								
		7,27	0,139	20,73	6,72	0,939	131,43						0,243	0,387	0,630
	P pH = 7,28 Cl = 0,91	7,11	0,204	30,4	6,80	1,236	173,0	433,8	1,15	28,3	4,4	29,0	0,173	0,520	0,693
		7,11	0,162	24,1	6,75	1,214	169,9						-	-	-
		7,08	0,180	26,8	6,73	1,225	171,4								
			7,10	0,182	27,10	6,76	1,225	171,43						0,173	0,520
21-abr	G pH = 7,60 Cl = 0,62	7,11	0,138	20,6	6,05	1,006	140,8	544,0	2,24	28,2	4,5	28,0	0,570	0,370	0,940
		7,15	0,137	20,4	6,63	1,001	140,1						-	-	-
		7,09	0,138	20,6	-	-	-								
		7,12	0,138	20,53	6,34	1,004	140,45						0,570	0,370	0,940
	P pH = 7,31 Cl = 0,59	6,87	0,280	41,7	6,68	1,241	173,7	528,5	1,13	29,0	4,7	29,2	0,470	0,397	0,867
		6,79	0,228	34,0	6,39	1,249	174,8						-	-	-
		-	-	-	-	-	-								
		6,83	0,254	37,85	6,54	1,245	174,25						0,470	0,397	0,867

		Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor Combinat	Clor total
Dia	Piscina	pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
24-abr	G pH = 7,59 Cl = 0,60	6,94	0,280	41,7	6,67	0,974	136,3	408,3	2,19	27,8	4,3	27,9	0,320	0,263	0,583
		6,86	0,271	40,4	6,71	0,951	133,1						-	-	-
		-	-	-	6,54	0,948	132,7								
		6,90	0,276	41,05	6,64	0,958	134,03						0,320	0,263	0,583
	P pH = 7,20 Cl = 0,93	6,88	0,179	26,7	7,00	1,239	173,4	435,1	0,98	28,4	4,3	28,8	0,400	0,367	0,767
		7,10	0,159	23,7	6,56	1,215	170,0						-	-	-
		7,08	0,250	37,3	6,57	1,213	169,7								
		7,02	0,196	29,23	6,71	1,222	171,03						0,400	0,367	0,767
25-abr	G pH - Cl -	7,30	0,157	23,4	6,72	0,961	134,5	339,0	2,19	27,9	4,5	27,8	0,177	0,430	0,607
		7,15	0,155	23,1	6,75	0,976	136,6						-	-	-
		7,10	0,157	23,4	6,70	0,947	132,5								
		7,18	0,156	23,30	6,72	0,961	134,53						0,177	0,430	0,607
	P pH = 7,27 Cl = 0,87	7,04	0,300	44,7	6,89	1,217	170,3	380,0	1,05	28,5	4,6	29,4	0,237	0,376	0,613
		7,03	0,268	39,9	6,62	1,189	166,4						-	-	-
		6,94	0,258	38,5	6,68	1,185	165,8								
		7,00	0,275	41,03	6,73	1,197	167,50						0,237	0,376	0,613

		Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O2 dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
Dia	Piscina	pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
26-abr	G pH = 7,65 Cl = 0,60	7,26	0,143	21,3	6,74	0,781	109,3	563,9	2,16	28,3	4,9	28,2	0,807	0,313	1,120
		6,84	0,147	21,9	6,47	0,938	131,3						0,903	0,227	1,130
		7,05	0,148	22,1	6,45	0,879	123,0								
		7,05	0,146	21,77	6,55	0,866	121,20						0,855	0,270	1,125
	P pH = 7,35 Cl = 0,91	7,00	0,249	37,1	6,90	1,164	162,9	601,7	1,04	28,4	5	29,1	0,700	0,377	1,077
		6,83	0,226	33,7	6,40	1,150	160,9						0,650	0,367	1,017
		6,82	0,211	31,4	6,43	1,151	161,1								
		6,88	0,229	34,07	6,58	1,155	161,63						0,675	0,372	1,047
27-abr	G pH = 7,68 Cl = 0,56	7,23	0,127	18,9	6,59	0,967	160,1	415,7	2,22	28,0	4,5	28,0	0,273	0,350	0,623
		7,10	0,135	20,1	6,53	0,926	155,9						0,240	0,307	0,547
		7,19	0,137	20,4	6,57	0,965	135,0								
		7,17	0,133	19,80	6,56	0,953	150,33						0,257	0,329	0,585
	P pH = 7,43 Cl = 0,89	7,08	0,194	28,9	7,03	1,146	160,1	462,5	1,01	28,2	4,9	29,1	0,377	0,413	0,790
		7,06	0,201	30,0	6,67	1,114	155,9						0,300	0,397	0,697
		7,11	0,186	27,7	6,67	1,114	155,9								
		7,08	0,194	28,87	6,79	1,125	157,30						0,339	0,405	0,744
28-abr	G pH = 7,70 Cl = 0,00	7,08	0,121	18,0	6,57	0,999	139,8	355,8	2,21	27,9	5 - 4,5	28,0	0,130	0,200	0,330
		7,06	0,138	20,6	6,65	0,981	137,3						-	-	-
		7,39	0,134	20,0	6,90	0,957	133,9								
		7,18	0,131	19,53	6,71	0,979	137,00						0,130	0,200	0,330
	P pH = 7,30 Cl = 0,00	7,31	0,210	31,3	7,25	1,194	167,1	349,8	0,95	29,0	4,4	29,0	0,063	0,157	0,220
		7,42	0,150	22,4	6,71	1,170	163,7						-	-	-
		7,34	0,127	18,9	6,89	1,159	162,2								
		7,36	0,162	24,20	6,95	1,174	164,33						0,063	0,157	0,220

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃ (P5)			Valoració HCO ₃ ⁻ (P1)			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O2 dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
2-maig	G pH = 7,46 Cl = 0,52	6,61	0,237	35,3	6,06	1,062	148,6	383,8	1,98	27,8	4,4	28,1	0,440	0,290	0,730
		6,78	0,255	38,0	6,35	1,072	150,0						0,370	0,283	0,653
		6,69	0,379	56,5	6,58	1,050	146,9								
		6,69	0,290	43,27	6,33	1,061	148,50						0,405	0,287	0,692
	P pH = 7,48 Cl = 0,89	6,58	0,199	29,7	6,78	1,217	170,3	399,6	0,99	27,9	5,2	29,2	0,313	0,670	0,983
		7,13	0,196	29,2	6,63	1,227	171,7						0,287	0,506	0,793
		6,59	0,201	30,0	6,20	1,211	169,5								
		6,77	0,199	29,63	6,54	1,218	170,50						0,300	0,588	0,888
03-mai	G pH = 7,59 Cl = 0,25	7,35	0,176	26,2	6,39	1,050	146,9	457,1	1,92	28,1	4,8	27,9	0,373	0,227	0,600
		6,73	0,182	27,1	6,80	1,050	144,9						0,343	0,224	0,567
		6,96	0,186	27,7	6,66	1,033	144,6								
		7,01	0,181	27,00	6,62	1,044	145,47						0,358	0,226	0,584
	P pH = 7,40 Cl = 0,89	7,12	0,211	31,4	7,07	1,230	172,1	535,2	1,01	28,5	5,1	29,2	0,650	0,493	1,143
		7,13	0,202	30,1	6,77	1,182	165,4						0,820	0,403	1,223
		6,74	0,200	29,8	6,90	1,178	164,9								
		7,00	0,204	30,43	6,91	1,197	167,47						0,74	0,45	1,18
4-mai	G pH = 7,64 Cl = 0,60	7,00	0,158	23,5	6,68	0,523	73,2	470,4	1,94	27,7	4,6	27,7	0,563	0,304	0,867
		7,12	0,150	22,4	6,78	0,507	71,0						0,237	0,303	0,540
		7,16	0,148	22,1	7,02	0,519	72,6								
		7,09	0,152	22,67	6,83	0,516	72,27						0,400	0,304	0,704
	P pH = 7,44 Cl = 0,87	7,18	0,118	17,6	6,75	0,708	99,1	554,6	0,95	28,2	5,1	28,7	0,353	0,444	0,797
		7,12	0,075	11,2	6,70	0,583	81,6						0,427	0,340	0,767
		7,12	0,096	13,6	6,75	0,592	82,8								
		7,14	0,096	14,13	6,73	0,628	87,83						0,390	0,392	0,782

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
5-mai (*)	G pH = 7,65 Cl = 0,63	6,99	0,158	23,5	6,31	9,106	127,4	441,2	1,93	27,9	5,3 - 4,6	28,0	0,163	0,604	0,767
		7,10	0,101	15,1	6,65	9,460	132,4						0,397	0,323	0,720
		7,32	0,067	10	6,54	9,778	136,8								
		7,14	0,109	16,20	6,50	9,448	132,20						0,280	0,464	0,744
	P pH = 7,41 Cl = 0,91	6,56	0,209	31,2	6,58	11,565	161,8	565,7	0,97	28,4	5,2	29,0	0,587	0,343	0,930
		6,99	1,161	24,0	6,48	11,505	161,0						0,520	0,333	0,853
		7,19	0,096	14,3	6,68	11,305	158,2								
		6,91	0,489	23,17	6,58	11,458	160,33						0,554	0,338	0,892
	9-mai (**)	G pH = 7,59 Cl = 0,61	6,84	0,629	17,1	6,38	10,175	-	1,97	27,5	4,8	27,7	0,493	0,260	0,753
			6,59	0,696	19,0	6,79	10,135						0,547	0,263	0,810
			-	-	-	-	-								
			6,72	0,663	18,05	6,59	10,155						0,520	0,262	0,782
		P pH = 7,45 Cl = 0,45	7,12	0,757	20,6	7,22	11,706	-	0,99	28,1	5,3	28,6	0,050	0,520	0,570
			7,13	0,712	19,4	6,64	11,565						0,243	0,270	0,513
			-	-	-	-	-								
		7,13	0,735	20,00	6,93	11,636	162,75						0,147	0,395	0,542
10-may	G pH = 7,64 Cl = 0,60	7,05	0,731	19,9	6,41	10,605	148,4	587,4	1,93	27,7	4,7	27,9	0,493	0,417	0,910
		6,86	0,654	17,8	6,38	10,313	144,3						0,553	0,334	0,887
		6,47	0,620	16,9	-	-	-								
		6,79	0,668	18,20	6,40	10,459	146,35						0,523	0,376	0,899
	P pH = 7,46 Cl = 0,89	7,12	0,791	21,5	7,11	11,919	166,8	570,8	0,96	28,2	5,3	29,2	0,387	0,253	0,640
		7,11	0,767	20,9	6,70	12,116	169,6						0,370	0,240	0,610
		7,09	0,770	21,0	6,51	12,162	170,2								
		7,11	0,776	21,13	6,77	12,066	168,87						0,379	0,247	0,625

(*) Canvi de la concentració de la dissolució del reactiu àcid clorhídric

(**) Canvi de la concentració de la dissolució del reactiu hidròxid de sodi

		Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O2 dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
Dia	Piscina	pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
11-mai	G pH = 7,68 Cl= 0,32	6,83	0,724	19,7	6,47	10,826	151,5	329,6	1,95	27,5	4,6	27,5	0,430	0,243	0,673
		6,93	0,635	17,3	6,53	10,797	151,1						-	-	-
		7,16	0,623	17,0	6,52	10,669	149,3								
		6,97	0,661	18,00	6,51	10,764	150,63						0,430	0,243	0,673
	P pH = 7,39 Cl 0,67	7,10	0,818	22,3	7,15	12,467	174,5	383,4	0,98	28,2	5,1	28,8	0,443	0,330	0,773
		7,17	0,808	22,0	6,51	12,303	172,2						0,350	0,290	0,640
		7,13	0,799	21,8	6,50	12,232	171,2								
		7,13	0,808	22,03	6,72	12,334	172,63						0,397	0,310	0,707
												0,397	0,310	0,707	
12-mai	G pH = 7,69 Cl = 0,58	7,21	0,728	19,8	6,37	10,626	148,7	494,7	1,95	27,6	4,6	27,7	0,527	0,270	0,797
		6,71	0,678	18,5	6,55	10,328	144,5						0,500	0,213	0,713
		7,11	0,643	17,5	6,35	10,429	145,9								
		7,01	0,683	18,60	6,42	10,461	146,37						0,514	0,242	0,755
	P pH = 7,31 Cl = 0,89	6,82	1,019	27,7	7,03	12,062	168,8	565,8	0,97	28,1	5,1	29,1	0,380	0,417	0,797
		6,99	0,997	27,1	6,32	11,965	167,4						0,523	0,330	0,853
		7,06	0,958	26,1	6,31	11,964	167,4								
		6,96	0,991	26,97	6,55	11,997	167,87						0,452	0,374	0,825
												0,452	0,374	0,825	
15-mai	G pH = 7,57 Cl = 0,58	6,97	0,974	26,5	6,43	10,733	150,2	318,7	2,01	27,8	4,6	27,9	0,370	0,207	0,577
		6,43	0,818	22,3	6,38	10,455	146,3						0,340	0,280	0,620
		6,29	0,829	22,6	6,28	10,301	144,2								
		6,56	0,874	23,80	6,36	10,496	146,90						0,36	0,24	0,60
	P pH = 7,40 Cl = 0,87	6,99	0,830	22,6	6,77	11,727	164,1	361,9	0,98	28,5	5,2	28,7	0,513	0,397	0,910
		6,75	0,812	22,1	6,55	11,586	162,1						0,370	0,440	0,810
		6,92	0,851	23,2	6,48	11,698	163,7								
		6,89	0,831	22,63	6,60	11,670	163,30						0,442	0,419	0,860
												0,442	0,419	0,860	

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
16-may	G pH = 7,68 Cl = 0,60	6,17	0,814	22,2	6,37	10,719	150,0	303,4	2,02	27,7	4,5	28,7	0,113	0,610	0,723
		6,57	0,752	20,5	6,48	10,889	152,4						0,383	0,350	0,733
		6,75	0,740	20,2	6,22	10,518	147,2								
		6,50	0,769	20,97	6,36	10,709	149,87						0,248	0,480	0,728
	P pH = 7,34 Cl = 0,87	7,06	0,930	25,3	6,84	11,759	164,6	342,4	0,98	28,3	5,2	29,3	0,800	0,273	1,073
		6,84	0,882	24,0	6,65	11,672	163,3						0,757	0,256	1,013
		7,04	0,880	23,9	6,30	11,621	162,6								
		6,98	0,897	24,40	6,60	11,684	163,50						0,779	0,265	1,043
17-may	G pH = 7,73 Cl = 0,60	6,58	0,716	19,5	-	-	-	542,5	2,00	-	4,6	28,0	0,790	0,223	1,013
		6,55	0,726	19,8	6,36	10,991	153,1						0,733	0,254	0,987
		6,51	0,720	19,6	6,34	11,052	154,7								
		6,55	0,721	19,63	6,35	11,022	153,90						0,762	0,239	1,000
	P pH = 7,28 Cl = 0,87	6,53	1,091	29,7	6,34	11,647	162,0	580,3	0,98	-	5,2	29,0	0,800	0,390	1,190
		6,56	0,907	24,7	6,30	11,384	159,3						0,913	0,327	1,240
		6,52	0,925	25,2	6,33	11,507	161,0								
		6,54	0,974	26,53	6,32	11,513	160,77						0,857	0,359	1,215

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
19-may	G pH = 7,55 Cl = 0,58	6,86	0,895	24,4	6,13	9,866	138,1	415,5	2,12	28,1	4,8	27,8	0,300	0,317	0,617
		6,26	0,813	22,1	6,13	9,828	137,5						0,400	0,280	0,680
		6,42	0,834	22,7	6,19	9,784	136,9								
		6,51	0,847	23,07	6,15	9,826	137,50						0,350	0,299	0,649
	P pH = 7,21 Cl = 0,93	6,53	0,989	26,9	6,25	10,743	150,3	426,2	1,01	28,8	4,2	28,8	0,513	0,310	0,823
		6,31	0,963	26,2	6,00	10,556	147,9						0,350	0,343	0,693
		6,51	0,953	26,0	-	-	-								
		6,45	0,968	26,37	6,13	10,650	149,10						0,432	0,327	0,758
22-mai	G pH = 7,39 Cl = 0,69	6,09	0,807	22,0	5,99	7,626	106,7	593,4	2,05	28,4	4,4	28,1	0,360	0,317	0,677
		6,02	0,821	22,4	6,13	6,869	96,0						0,357	0,306	0,663
		6,28	0,824	22,4	6,04	6,930	97,0								
		6,13	0,817	22,27	6,05	7,142	99,90						0,359	0,312	0,670
	P pH = 7,55 Cl = 0,91	7,03	0,571	15,5	6,68	9,115	127,6	526,2	1,02	-	3,9	29,5	0,363	0,267	0,630
		6,09	0,584	15,9	6,45	9,115	127,6						-	-	-
		7,00	0,553	15,1	6,38	9,405	131,6								
		6,71	0,569	15,50	6,50	9,212	128,93						0,363	0,267	0,630
23-mai	G pH = 7,30 Cl = 0,60	6,68	0,853	23,2	6,09	6,836	95,7	420,7	2,13	28,3	4,5	27,9	0,107	0,676	0,783
		6,49	0,839	22,8	6,09	6,849	95,8						0,417	0,320	0,737
		6,56	0,854	23,3	6,08	6,810	95,3								
		6,58	0,849	23,10	6,09	6,832	95,60						0,262	0,498	0,760
	P pH = 7,50 Cl = 0,87	7,18	0,620	16,9	6,89	9,263	129,6	423,6	1,09	28,7	4,1	28,7	0,647	0,333	0,980
		7,00	0,621	16,9	6,49	9,332	130,6						0,623	0,327	0,950
		6,95	0,615	16,7	6,27	9,103	127,4								
		7,04	0,619	16,83	6,55	9,233	129,20						0,635	0,330	0,965

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O2 dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
24-mai	G pH = 7,30 Cl = 0,61	5,98	0,783	21,3	5,95	5,977	83,6	470,3	2,11	27,9	4,5	28,0	-	-	-
		6,61	0,744	20,3	5,92	5,949	83,3						-	-	-
		6,52	0,739	20,1	5,90	5,826	81,5								
		6,37	0,755	20,57	5,92	5,917	82,80						-	-	-
	P pH = 7,19 Cl = 0,93	6,88	0,729	19,9	6,95	7,733	108,2	476,3	1,10	28,5	3,9	29,1	-	-	-
		6,76	0,745	20,3	6,25	7,776	108,8						-	-	-
		6,82	0,724	19,7	6,31	7,877	110,2								
		6,82	0,733	19,97	6,50	7,795	109,07						-	-	-
29-mai	G pH = 7,20 Cl = 0,61	6,45	0,904	24,6	5,90	3,467	48,5	427,0	2,09	28,5	4,6	28,2	0,173	0,364	0,537
		6,27	0,656	17,9	5,87	3,982	55,7						0,210	0,307	0,517
		6,65	0,630	17,2	6,07	3,765	52,7								
		6,46	0,730	19,90	5,95	3,738	52,30						0,192	0,336	0,527
	P pH = 7,19 Cl = 0,91	6,76	0,712	19,4	6,91	6,035	84,5	505,5	1,29	28,9	3,8	29,6	0,313	0,324	0,637
		6,85	0,698	19,0	6,16	6,045	84,6						0,307	0,350	0,657
		6,86	0,694	18,9	6,18	6,051	84,7								
		6,82	0,701	19,10	6,42	6,044	84,60						0,310	0,337	0,647
30-mai	G pH = 7,20 Cl = 0,60	6,91	0,498	13,6	5,82	3,200	44,8	368,6	2,10	28,5	4,7	28,1	0,483	0,240	0,723
		6,70	0,544	14,8	6,05	3,295	46,1						0,910	0,293	1,203
		6,70	0,518	14,1	6,06	3,310	46,3								
		6,77	0,520	14,17	5,98	3,268	45,73						0,697	0,267	0,963
	P pH = 7,20 Cl = 0,73	7,10	0,496	13,5	7,06	5,647	79,0	462,1	1,30	28,5	4,2	29,4	0,187	0,686	0,873
		7,17	0,482	13,1	6,22	5,649	79,1						0,410	0,397	0,807
		6,94	0,501	13,6	6,33	5,694	79,7								
		7,07	0,493	13,40	6,54	5,663	79,27						0,299	0,542	0,840

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
31-mai	G pH = 7,20 Cl = 0,59	6,70	0,515	14,0	6,22	3,006	42,1	523,7	2,16	28,0	4,6	27,7	0,283	0,330	0,613
		6,64	0,477	13,0	6,18	2,915	40,8						0,210	0,330	0,540
		6,71	0,470	12,8	6,41	3,020	42,3								
		6,68	0,487	13,27	6,27	2,980	41,73						0,247	0,330	0,577
	P pH = 7,18 Cl = 0,94	7,12	0,523	14,2	7,08	5,586	78,2	518,0	1,43	27,9	4,1	28,7	0,396	0,317	0,713
		6,98	0,520	14,2	6,69	5,578	78,1						0,413	0,334	0,747
		7,14	0,521	14,2	6,53	5,422	75,9								
		7,08	0,521	14,20	6,77	5,529	77,40						0,405	0,326	0,730
1-juny	G pH - Cl -	6,84	0,442	12,0	7,30	2,069	29,0	467,3	2,18	28,0	4,6	27,8	0,127	0,440	0,567
		7,16	0,422	11,5	6,46	2,139	29,9						0,230	0,343	0,573
		6,81	0,411	11,2	6,52	2,144	30,0								
		6,94	0,425	11,57	6,76	2,117	29,63						0,179	0,392	0,570
	P pH - Cl -	7,14	0,478	13,0	7,11	4,394	61,5	466,0	1,42	28,3	3,9	29,0	0,190	0,603	0,793
		7,18	0,493	13,4	6,59	4,343	60,8						0,073	0,297	0,370
		7,16	0,497	13,5	6,78	4,280	59,9								
		7,16	0,489	13,30	6,83	4,339	60,73						0,132	0,450	0,582
2-juny	G pH = 7,18 Cl = 0,60	6,81	0,425	11,6	6,60	1,997	27,9	403,2	2,19	27,9	4,6	27,7	0,263	0,294	0,557
		7,01	0,448	12,2	6,55	1,991	27,9						0,227	0,310	0,537
		7,03	0,401	10,9	6,50	2,057	28,8								
		6,95	0,425	11,57	6,55	2,015	28,20						0,245	0,302	0,547
	P pH = 7,19 Cl = 0,89	7,05	0,482	13,1	7,19	4,082	57,1	444,0	1,53	28,1	4,1	28,7	0,110	0,607	0,717
		7,25	0,476	13,0	6,70	3,991	55,9						-	-	-
		7,04	0,469	12,8	6,56	4,038	56,5								
		7,11	0,476	12,97	6,82	4,037	56,50						0,110	0,607	0,717

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
6-juny	G pH = 7,17 Cl = 0,60	5,98	0,572	15,6	6,05	1,647	23,0	525,5	2,15	28,0	4,7	27,7	0,343	0,254	0,597
		7,09	0,464	12,6	6,04	1,927	27,0						0,280	0,257	0,537
		7,16	0,353	9,6	6,04	1,868	26,1								
		6,74	0,463	12,60	6,04	1,814	25,37						0,312	0,256	0,567
	P pH = 7,17 Cl = 0,015	6,98	0,522	14,2	7,17	4,371	61,2	438,6	1,37	28,4	4,1	29,2	-	-	-
		7,16	0,503	13,7	6,25	0,379	61,3						-	-	-
		7,07	0,516	14,1	6,18	4,353	60,9								
		7,07	0,514	14,00	6,53	3,034	61,13						-	-	-
7-juny	G pH = 7,17 Cl = 0,61	7,01	0,343	9,3	6,06	1,833	25,7	4416,6	2,18	27,6	4,7	27,7	0,453	0,247	0,700
		6,95	0,426	11,6	5,91	1,449	20,3						0,410	0,287	0,697
		7,11	0,264	7,2	5,91	1,442	20,2								
		7,02	0,344	9,37	5,96	1,575	22,07						0,432	0,267	0,699
	P pH = 7,19 Cl = 0,92	6,96	0,485	13,2	7,10	4,102	57,4	388,4	1,49	28,1	4,1	29,0	0,093	0,500	0,593
		7,11	0,485	13,2	6,24	4,051	56,7						0,093	0,444	0,537
		7,20	0,476	13,0	6,25	4,048	56,6								
		7,09	0,482	13,13	6,53	4,067	56,90						0,093	0,472	0,565
12-juny	G pH = 7,17 Cl = 0,61	7,31	0,307	8,4	5,99	1,258	17,6	431,2	2,17	27,8	4,9	27,7	0,413	0,240	0,653
		7,09	0,281	7,7	5,93	1,236	17,3						0,287	0,053	0,340
		7,24	0,278	7,6	6,19	1,270	17,8								
		7,21	0,289	7,90	6,04	1,255	17,57						0,350	0,147	0,497
	P pH = 7,20 Cl = 0,87	7,11	0,457	12,4	7,13	3,567	49,9	403,5	1,46	28,5	4,3	29,3	0,250	0,283	0,533
		6,97	0,464	12,6	6,16	3,553	49,7						0,230	0,297	0,527
		7,11	0,470	12,8	6,36	3,518	49,2								
		7,06	0,464	12,60	6,55	3,546	49,60						0,240	0,290	0,530

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
13-juny	G pH = 7,17 Cl = 0,60	6,68	0,275	7,5	6,10	1,198	16,8	456,7	2,20	27,9	4,8	27,7	0,463	0,237	0,700
		6,73	0,304	8,3	5,79	1,133	15,9						0,427	0,236	0,663
		6,48	0,307	8,4	6,00	1,207	16,9								
		6,63	0,295	8,07	5,96	1,179	16,53						0,445	0,237	0,682
	P pH = 7,21 Cl = 1,10	7,09	0,434	11,8	6,98	3,501	49,0	464,0	1,46	28,1	4,2	29,2	0,150	0,547	0,697
		7,06	0,429	11,7	6,12	3,400	47,6						0,347	0,290	0,637
		7,00	0,438	11,9	6,26	3,395	47,5								
		7,05	0,434	11,80	6,45	3,432	48,03						0,249	0,419	0,667
14-juny	G pH = 7,17 Cl = 0,62	6,91	0,292	8,0	5,98	1,124	15,7	520,3	2,20	28,1	4,7	28,0	0,250	0,297	0,547
		6,42	0,314	8,6	5,69	1,089	15,2						0,222	0,291	0,513
		6,46	0,311	8,5	5,91	1,109	15,5								
		6,60	0,306	8,37	5,86	1,107	15,47						0,236	0,294	0,530
	P pH = 7,18 Cl = 0,95	6,94	0,453	12,3	6,81	3,423	47,9	475,8	1,49	28,2	4,2	29,1	0,300	0,463	0,763
		6,89	0,431	11,7	6,25	3,457	18,4						0,273	0,337	0,610
		6,99	0,433	11,8	6,16	3,482	48,7								
		6,94	0,439	11,93	6,41	3,454	38,33						0,287	0,400	0,687
15-juny	G pH = 7,15 Cl = 0,60	6,78	0,302	8,2	6,37	1,097	15,4	438,2	2,20	27,9	4,6	27,9	0,400	0,267	0,667
		6,66	0,295	8,0	5,89	0,939	13,1						0,373	0,234	0,607
		6,48	0,317	8,6	6,21	1,091	15,3								
		6,64	0,305	8,27	6,16	1,042	14,60						0,387	0,251	0,637
	P pH = 7,20 Cl = 0,84	6,91	0,401	10,9	-	3,333	46,6	440,2	1,60	29,0	3,9	29,5	0,133	0,577	0,710
		7,11	0,381	10,4	-	3,331	46,6						0,263	0,368	0,631
		6,97	0,384	10,5	-	3,423	47,9								
		7,00	0,389	10,60	-	3,362	47,03						0,198	0,473	0,671

Dia	Piscina	Valoració H ₂ CO ₃			Valoració HCO ₃ ⁻			Pot. Redox (mV)	Conductivitat (mS)	T (°C)	O ₂ dissolt (mg/l)	T (°C)	Clor lliure	Clor combinat	Clor total
		pH inicial	V final (ml)	ppm	pH inicial	V final (ml)	ppm								
16-juny	G pH = 7,17 Cl = 0,60	7,25	0,281	7,7	6,45	1,088	15,2	480,1	2,23	28,1	4,7	28,2	0,240	0,317	0,557
		7,14	0,374	10,2	6,44	1,096	15,3						0,320	0,260	0,580
		6,95	0,258	7,0	6,49	1,087	15,2								
		7,11	0,304	8,30	6,46	1,090	15,23						0,280	0,289	0,569
	P pH = 7,17 Cl = 0,85	6,76	0,460	12,5	6,33	3,452	48,3	487,9	1,52	28,4	4,1	29,7	0,270	0,307	0,577
		6,43	0,476	13,0	6,04	3,462	48,4						0,340	0,260	0,600
		6,97	0,460	12,5	6,16	3,368	47,1								
		6,72	0,465	12,67	6,18	3,427	47,93						0,305	0,284	0,589

ANNEX 5. PRESSUPOST

ANNEX 5. Pressupost

Recursos humans Cost (€)

Estudi i redacció de projecte (200 hores a 12 €/h).....2.400

Treball experimental (155 hores a 15 €/h).....2.325

Subtotal: 4.725

Desplaçaments

Transport públic.....100

Vehicle propi.....60

Subtotal: 160

Recursos materials

Material fungible de laboratori.....200

Equipament de laboratori (preu estimat 18 €/h).....2.790

Material d'oficina.....100

Subtotal: 3.090

Total: 7.975 Euros

16 % I.V.A: 1276 Euros

Total pressupost projecte: 9.251 Euros

Agraïments

Gràcies al meu tutor Jordi Bartrolí i a Antòn Gomà per haver confiat en mi alhora de portar a terme aquest estudi. Perquè sense l'ajuda i els coneixements del Jordi hagués estat molt difícil haver arribat a solucionar problemes amb els que m'he trobat. I a l'Antòn, per haver-me ajudat i proporcionat tot el que m'ha estat necessari fins al moment. També vull agrair al Carles la seva paciència i atenció, que de vegades he necessitat dins les instal·lacions del les piscines i en el laboratori.

En especial vull donar les gràcies a Rosa Olivé, un persona que m'ha ajudat sempre que l'he necessitat. Perquè gràcies a la seva ajuda i paciència me n'he sortit força bé amb les anàlisis de laboratori! Gràcies Rosa, per ser més que una ajuda tant en el projecte com moralment, per ser una bona amiga.

Agrair també els bons consells de tots els meus amics i amigues.

Gràcies a tota la meva família per donar-me sempre suport i aguantar el mal humor que de tant en tant he pogut tenir. I en especial al Nasser, per la seva paciència i per tenir-lo a prop en tots els moments, bons o difícils.